

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ERIKA CARVALHO JORGE

ANATOMIA DOS PEIXES

CURITIBA

2009

ERIKA CARVALHO JORGE

## ANATOMIA DOS PEIXES

Monografia apresentada à Disciplina de Estágio em Anatomia como requisito parcial à conclusão do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vânia Pais Cabral

CURITIBA  
2009

Aos entes queridos, na esperança de que o trabalho lhes faça jus.

Agradeço a meus pais, por aguentarem todos esses 22 anos, sendo os últimos cinco repletos de situações inusitadas proporcionadas pela faculdade. Agradeço à Prof<sup>a</sup>. Vânia Pais Cabral, por me acolher como orientanda sem hesitar, e colaborar tão intensamente com o desenvolvimento deste trabalho, que me permitiu crescer e conhecer. Aos meus irmãos, por acreditarem em mim. Aos meus amigos, pelos conselhos sobre o trabalho, peripécias e risadas para descontrair na hora do nervosismo. Ao Emerson, pela paciência, ajuda e companheirismo. Ao Departamento de Anatomia da Universidade Federal do Paraná, por permitir a realização deste trabalho.

## **RESUMO**

Peixes representam o maior e mais diverso grupo de vertebrados. Em mais de 500 milhões de anos de existência, o grupo evoluiu uma gama de formas e hábitos, ocupando praticamente todos os tipos de habitats aquáticos disponíveis na Terra. A anatomia dos peixes pode ser descrita de forma generalizada, embora haja particularidades morfológicas e adaptações nos diferentes níveis taxonômicos. O estudo da anatomia de peixes tem importante papel em diferentes áreas da Biologia, e pode fornecer evidências favoráveis sobre os processos de evolução do grupo. O objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre a anatomia dos peixes, respeitando suas particularidades. Para tal, foi realizada pesquisa nos acervos das bibliotecas de Ciências Biológicas e Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, além de consulta a acervos digitais. O campo de trabalho na área mostra-se em ascensão, embora a produção de conhecimento científico sob o enfoque anatômico apresente-se ainda em desvantagem em relação às outras áreas de estudos com peixes.

Palavras-chave: Anatomia dos peixes. Morfologia dos peixes.

## **ABSTRACT**

Fish represent the biggest and most diverse vertebrate group. In more than 500 million years of existence, the group has evolved a wide range of forms and habits, occupying almost all water habitats available on Earth. It is possible to describe fish anatomy in a generalized way, although there are morphologic particularities and adaptations on different taxonomic levels. Research on fish anatomy overlaps with many areas of Biology, and plays an important role in evolutionary studies of the group. The objective of this work was to accomplish a bibliographical review on the fish anatomical aspects, regarding its specializations. For this purpose, a research was performed on the database of UFPR's Ciências Biológicas and Ciências Agrárias libraries, associated with queries in online databases. The work field on the area is in process of ascension, although the scientific knowledge focusing anatomy is still in disadvantage compared with other fish research fields.

Key words: Fish anatomy. Fish morphology.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1 - Diagrama das relações filogenéticas entre os peixes com mandíbula, com possíveis parentescos entre os principais grupos basais, e correlação com o tempo geológico. Linhas pontilhadas indicam apenas parentesco, não a época de divergência nem a presença não assinalada de táxons no registro fóssil. Barras verticais interrompidas indicam linhagens extintas.....14
- FIGURA 2 - Ilustrações de peixes representando duas possíveis morfologias gerais externas, e suas respectivas regiões do corpo. Em A, exemplar do peixe ósseo tucunaré (*Cichla*). Em B, observar exemplar de peixe cartilaginoso, uma raia (*Potamotrygon motoro*). Ilustrações fora de escala.....17
- FIGURA 3 - Esquemas de cortes em planos transversais (A-D) e longitudinais (E-H) do corpo de peixes. A, circular; B, comprimido; C, deprimido; D, truncado; E, alongado; F, fusiforme; G, cilíndrico; H, truncado...17
- FIGURA 4 - Correlação entre formato do corpo e seção transversal. Cada formato induz um tipo de nado, e os seguintes peixes ilustram como exemplo: a, atum (*Thunnus*); b, bodião-de-pinta (*Tautoga*); c, raia (*Raja*); d, peixe-caximbo (*Syngnathus*).....18
- FIGURA 5 - Representação esquemática de algumas dimensões possíveis de serem mensuradas em peixes. A= comprimento total; B= comprimento furcífero; C= comprimento padrão; D= comprimento da cabeça; E= comprimento da maxila; F= distância pré-dorsal; G= altura do corpo; H= espaço interdorsal; I= comprimento da base da 2ª nadadeira dorsal; J= distância pós-dorsal; K= pedúnculo caudal.....19
- FIGURA 6 - Ilustração de bagre *Pirinampus pirinampu*, representando algumas estruturas da cabeça.....20
- FIGURA 7 - Figura ilustrativa do arcabouço esquelético de peixe ósseo (componentes do esqueleto axial).....21
- FIGURA 8 - Ilustração esquemática de vértebras do tronco de peixes. A, corte

transversal em vértebra de tubarão *Lamna*, exibindo as bases do arco encaixadas no centro. B, vista lateral de duas vértebras da coluna de *Lamna*. Atentar para os elementos entre os arcos neurais, que completam o fechamento do canal para a passagem da medula vertebral. C, corte transversal em vértebra de teleósteo *Esox*; sua estrutura é similar àquela do tubarão. D, vista lateral de duas vértebras de peixe ósseo *Amia* jovem, exibindo bases dos arcos dorsais e ventrais distinguíveis do centro. E, vista lateral de vértebras de *Amia* adulto, bases dos arcos incorporadas ao centro. F, vista lateral das vértebras de *Esox*; como no tubarão, as bases dos arcos dorsais estão escondidas pelos arcos neurais. na, arcos neurais; dab, base do arco dorsal; vab, base do arco ventral; vr, costela ventral; dr, costela dorsal.....22

- FIGURA 9 - Figura esquemática de peixe ósseo ilustrando a disposição da musculatura axial ao longo do corpo e as divisões em miômeros (flechas).....24
- FIGURA 10 - Esquema de corte de tronco de peixe em vista lateral esquerda, com a musculatura axial removida, ilustrando os septos de tecido conjuntivo.....24
- FIGURA 11 - Ilustração de Actinopterygii fisóstomo exibindo bexiga natatória e estruturas do aparelho digestório. O ducto pneumático conecta a bexiga natatória ao estômago e, assim, ao meio externo.....26
- FIGURA 12 - Ilustração das conexões vasculares de bexiga natatória de peixe fisóclisto em vista lateral, expondo a ausência de ligação com o aparelho digestório.....27
- FIGURA 13 - Ilustração de Ostariophysi em vista dorsal, exibindo componentes do aparelho de Weber.....27
- FIGURA 14 - Esquema do plano básico do circuito cardiovascular de peixes mandibulados (Gnathostomata).....28
- FIGURA 15 - Imagem ilustrativa do coração de diferentes grupos de peixes. A, coração de lampreia em vista dorsal, exibindo arranjo simples entre as quatro câmaras. B, coração de peixe ósseo em vista lateral, exibindo o arranjo das quatro câmaras. C, coração de peixe

	cartilaginoso em vista lateral, exibindo o arranjo das quatro câmaras. s, seio venoso; a, átrio; v, ventrículo; c, cone arterioso...	29
FIGURA 16	- Ilustração esquemática de vista lateral de sistema circulatório de tubarão, com principais vasos e estruturas indicados. Alguns órgãos presentes para facilitar compreensão do organismo.....	30
FIGURA 17	- Ilustrações de corações de peixes pulmonados (Dipnoi). A, coração de <i>Neoceratodus</i> aberto, em vista ventral. B, coração de <i>Protopterus</i> em vista dorsal. C, coração de <i>Protopterus</i> aberto, em vista ventral. s, seio venoso; a, átrio; v, ventrículo; c, cone arterioso; se, septo atrio-ventricular.....	30
FIGURA 18	- Representação esquemática da direção do fluxo da água através das brânquias em peixe teleósteo.....	31
FIGURA 19	- Ilustrações referentes às hemibrânquias de peixes. Em A, padrão de hemibrânquia esquematizado. Em B, ilustração esquemática de hemibrânquia de atum <i>Katsuwonus</i> . Em C, ilustração esquemática de hemibrânquia de peixe-espada <i>Xiphias</i> . Em D, ilustração esquemática de corte transversal das estruturas apresentadas de A a C, exibindo os vasos aferentes e eferentes, com flechas apontando o sentido da água. a, arco branquial; f, filamentos branquiais.....	32
FIGURA 20	- Diagramas ilustrativos de cabeças em vista dorsal, hemiseccionadas em plano médio-lateral longitudinalmente. Em I, feiticeira ( <i>Myxine</i> ) exibindo barbilhões (A), boca (B), sacos branquiais (C), ductos eferentes (D), abertura externa comum das bolsas branquiais (E). Em II, esquema de tubarão exibindo espiráculo (F), boca (G) e brânquias (H). Em III, esquema de teleósteo exibindo aberturas nasais (I), opérculo (J) e brânquias (H).....	33
FIGURA 21	- Diagramas ilustrativos de sistemas reprodutores de peixes machos e fêmeas. A, sistema reprodutor de macho elasmobrânquio exibindo as estruturas simplificada; o ducto mesonéfrico exerce funções de excreção e reprodução. B, sistema reprodutor de fêmea de elasmobrânquio exibindo as estruturas simplificada; o	



	ovário não é conectado ao ducto mesonéfrico, que exerce função apenas de excreção, e o oviduto é bem desenvolvido.....	34
FIGURA 22	- Ilustração esquemática de cópula de tubarões do gênero <i>Scyliorhinus</i> . Para a cópula, o macho assume uma postura que permite a introdução do clásser masculino na cloaca feminina.....	35
FIGURA 23	- Ilustrações de cortes histológicos em gônadas de <i>Cyprinus caprio</i> . a, gônadas normais de macho genético controle, com espermatogênese em Sp. b, ovário normal de fêmea genética, com oviduto em OD, oócitos em prófase em pO , e oócitos pré-vitelogênicos em Oc. c, macho genético com testes pouco desenvolvidas, apresentando oviduto (OD) e algumas células germinativas primordiais (flechas). d, gônadas de macho genético com ocorrência de espermatogênese (Sp) concomitante a oócitos pré-vitelogênicos (Oc), e apresentando oviduto (OD).....	37
FIGURA 24	- Ilustração esquemática de néfron de elasmobrânquio, exibindo suas regiões anatômicas. I, II, III e IV referentes a <i>loops</i> .....	38
FIGURA 25	- Desenho esquemático da osmorregulação em teleósteos de água doce e salgada, demonstrando onde e quais trocas ocorrem.....	39
FIGURA 26	- Ilustração esquemática do trato gastrointestinal de teleósteos, alguns anexos e a correlação entre órgão e etapa da digestão. A, esôfago; B, estômago; C, cecos pilóricos; D, fígado; E, vesícula biliar; F, intestino; G, reto.....	41
FIGURA 27	- Eletromicrografia de varredura de osso faringeal de <i>Strongylura leiura ferox</i> (Teleostei: Belonidae). Na imagem, terceiro e quarto ossos faringobranquiais, com parte anterior voltada para a direita.....	42
FIGURA 28	- Visão geral do cérebro de carpa <i>crucian</i> . A, vista dorsal da cabeça, evidenciando cérebro e sistema olfatório. B, esquema da entrada do trato olfatório no telencéfalo, com suas três porções: I, trato olfatório lateral; II, porção lateral do trato olfatório medial; III, porção medial do trato olfatório medial. C, micrografia de varredura da roseta olfatória.....	44
FIGURA 29	- Esquema do sistema olfatório e porção anterior do cérebro em	

	carpa <i>crucian</i> , ilustrando tratos olfatórios e suas porções. TOL, trato olfatório lateral; TOMl, porção lateral do trato olfatório medial; TOMm, porção medial do trato olfatório medial.....	44
FIGURA 30	- Fotomicrografia de fluorescência de glomérulos olfatórios de peixe-zebra ( <i>Danio rerio</i> ) corado gradualmente com perclorato de 1-1'-dioctadecil-3,3,3',3'-tetrametilindocarbocianina (DiI). A, região do bulbo. B, detalhe dos glomérulos indicados por flechas.....	45
FIGURA 31	- Imagens ilustrativas sobre Ampolas de Lorenzini. A, vista ventral, região oral, de raia ( <i>Raja erinacea</i> ), e as porções finais em forma de alvéolo dos órgãos tubulares apresentando células sensoriais (flecha). B, Ampola de Lorenzini, com células sensoriais contendo gel eletro-condutor. C, em analogia a A, cabeça de <i>Squalus acanthius</i> ilustrando a distribuição das Ampolas de Lorenzini, com os círculos claros representando poros na superfície. D, em analogia a B, esquema de uma única Ampola de Lorenzini, com suas estruturas indicadas.....	46
FIGURA 32	- Representações esquemáticas da linha lateral em peixes. A, linha lateral. B, órgão neuromasto. C, poros na superfície da pele. D, canal.....	47

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	13
2.1 ASPECTOS EVOLUTIVOS .....	13
2.2 CLASSIFICAÇÃO .....	15
2.3 ANATOMIA .....	16
2.3.1 Morfologia Externa e Topografia .....	16
2.3.2 Aparelho Locomotor .....	20
2.3.3 Sistema Circulatório .....	28
2.3.4 Sistema Respiratório .....	31
2.3.5 Sistema Reprodutor .....	33
2.3.6 Sistema Excretor .....	37
2.3.7 Aparelho Digestório .....	40
2.3.8 Órgãos dos sentidos .....	43
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	48
4 DISCUSSÃO .....	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	51
REFERÊNCIAS .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

Os registros fósseis mais antigos de vertebrados primitivos foram encontrados na China e estima-se que datam cerca de 550 milhões de anos. Estes fósseis correspondem a indivíduos dos gêneros *Mylokuningia* e *Haikouichthys*, semelhantes aos peixes, e são considerados vertebrados por apresentarem evidências de crânio e miômeros em “W”, entretanto, não apresentam ossos ou escamas (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

Estima-se que ocorreu uma importante irradiação de vertebrados no início do período Ordoviciano, pois se observa uma grande diversidade de vertebrados encontrados em registros fósseis do Ordoviciano Superior. Nestes registros, aparecem peixes agnatos torpediformes, providos de armadura formada por pequenas placas ósseas poligonais (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

Peixes exibem grande diversidade em sua morfologia, nos habitats que ocupam, e em sua biologia (NELSON, 1994). A diversidade, a abundância e o tamanho dos peixes diminuem em grandes profundidades, já que eles necessitam dos produtos da fotossíntese; entretanto, ocorre nos ambientes profundos uma gama de peixes distintos (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

Ao analisar dados estatísticos quanto à descrição taxonômica dos vertebrados, pode-se estimar que haja um extenso campo de trabalho em ascensão na área de peixes. Nota-se que o número de novas espécies de peixes que são descritas anualmente supera os tetrápodes descritos. Sabe-se que até 1976 foram registradas 21.100 espécies viventes de tetrápodes, enquanto os peixes contavam com 18.818 espécies, aproximadamente 47% do total de vertebrados (NELSON, 1976).

Em 1994, o número de espécies de tetrápodes reportados subiu para 23.550, enquanto o de peixes foi para 24.618, aproximadamente 51% do total de vertebrados (NELSON, 1994). Em 1997, eram conhecidas aproximadamente 48.170 espécies de vertebrados, das quais 51% correspondiam aos peixes (BERRA, 1997). Em 2006, apresenta-se o número de 27.000 espécies apenas no grupo dos teleósteos (NELSON, 2003 *apud* RAVI; VENKATESH, 2008).

Há cerca de 480 famílias de peixes com espécies atuais, entretanto, as oito maiores detêm aproximadamente 33% do total, ou seja, aproximadamente 8.039

espécies, distribuídas em número de espécies na seguinte ordem decrescente: Cyprinidae, Gobiidae, Cichlidae, Characidae, Loricariidae, Labridae, Balitoridae e Serranidae (NELSON, 1994).

Os peixes podem ser encontrados em praticamente todos habitats aquáticos do mundo, tais como córregos, lagos, oceanos e estuários, inclusive em águas termais com temperaturas acima de 40°C e águas sob o manto de gelo da Antártica, cuja temperatura pode ser menor que 0°C (JOBILING, 1995).

Alguns peixes podem viver exclusivamente em habitat marinho, e outros em água doce, todavia, há peixes que transitam em ambos ambientes. Sabe-se que há peixes que se deslocam de um ecossistema para outro conforme crescem, outros têm seu estado larval em ambiente diferente do que habitam quando adultos (LOWE-MCCONNELL, 1999).

Ambientes de água doce cobrem em torno de 1% da superfície mundial, mas, em vista da maioria dos sistemas serem rasos demais, esses ambientes representam cerca de 0,01% do total de recursos aquáticos. Em contrapartida, aproximadamente 40% (8.500-9.000) das espécies de peixes são encontrados habitando rios e lagos de água doce (SIQUEIRA-SOUZA; FREITAS, 2004). O maior número de espécies é encontrado em regiões tropicais. Acredita-se que o sistema Amazônico apresente uma fauna de, no mínimo, 1.500 espécies de peixes (LOWE-MCCONNELL, 1999).

Pereira (1986) aponta os peixes como importante fonte de nutrição e renda no país, por mais que o consumo esteja aquém do potencial por questões culturais e geográficas. Enfatiza a importância de estudo de peixes, tanto de caráter etnobiológico quanto anatômico e fisiológico, e da comunicação entre as comunidades acadêmica e pesqueira, que pode ser produtiva para ambas as partes. À similitude, Hildebrand (1995) menciona que o conhecimento da anatomia dos vertebrados tem aplicação direta em diversas áreas da Biologia, e fornece evidências especialmente favoráveis sobre o processo de evolução dos grupos.

Sabendo-se que há uma grande variedade quanto aos números de famílias e espécies de peixes e que estes podem viver em diferentes habitats, o atual trabalho almeja realizar uma revisão literária quanto aos aspectos anatômicos dos peixes.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS EVOLUTIVOS

Os primeiros registros fósseis de vertebrados similares a peixes datam cerca de 550 milhões de anos e acredita-se que importante irradiação tenha ocorrido no período Ordoviciano, com picos de diversidade no Devoniano (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

Após o primeiro aparecimento de vertebrados no registro fóssilífero, logo surgem evidências de maxilas e apêndices pareados com suporte interno. Os Chondrichthyes apresentam traços derivados, como o esqueleto cartilaginoso, combinados com uma anatomia geralmente conservada. Estes peixes aparecem pela primeira vez ao final do Siluriano, e são bem sucedidos em invadir os ambientes de água doce ao final do Devoniano. Os registros fósseis de Osteichthyes sugerem datas similares, sendo que as primeiras evidências aparecem ao final do Siluriano e há grande representação no início do Devoniano, com dois grandes grupos divergindo (Actinopterygii e Sarcopterygii) (FIGURA 1). O Devoniano é, pela quantidade e diversidade de peixes ocorrendo em suas águas, considerado a “Era dos Peixes” (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

Pesquisadores supunham que a origem dos vertebrados teria ocorrido em água doce, baseados nas adaptações dos rins deste grupo para este ambiente. Porém, atualmente considera-se uma origem marinha para os vertebrados, baseada em registros fósseis (os primeiros fósseis são encontrados em sedimentos marinhos) e pelo fato de todos os cordados não-vertebrados e os invertebrados deuterostômios serem exclusivamente marinhos (ROSAS; MONTEIRO-FILHO, 2006).

Estudos filogenômicos sugerem que, durante a evolução dos vertebrados, todo o genoma tenha sido duplicado (MEYER; VAN DE PEER, 2005). O primeiro evento de duplicação teria ocorrido em um ancestral dos vertebrados, e o segundo em um grupo mais derivado de peixes, indicado pela presença de muitos genes com cópias paralogas (HOEGG *et al.*, 2004).

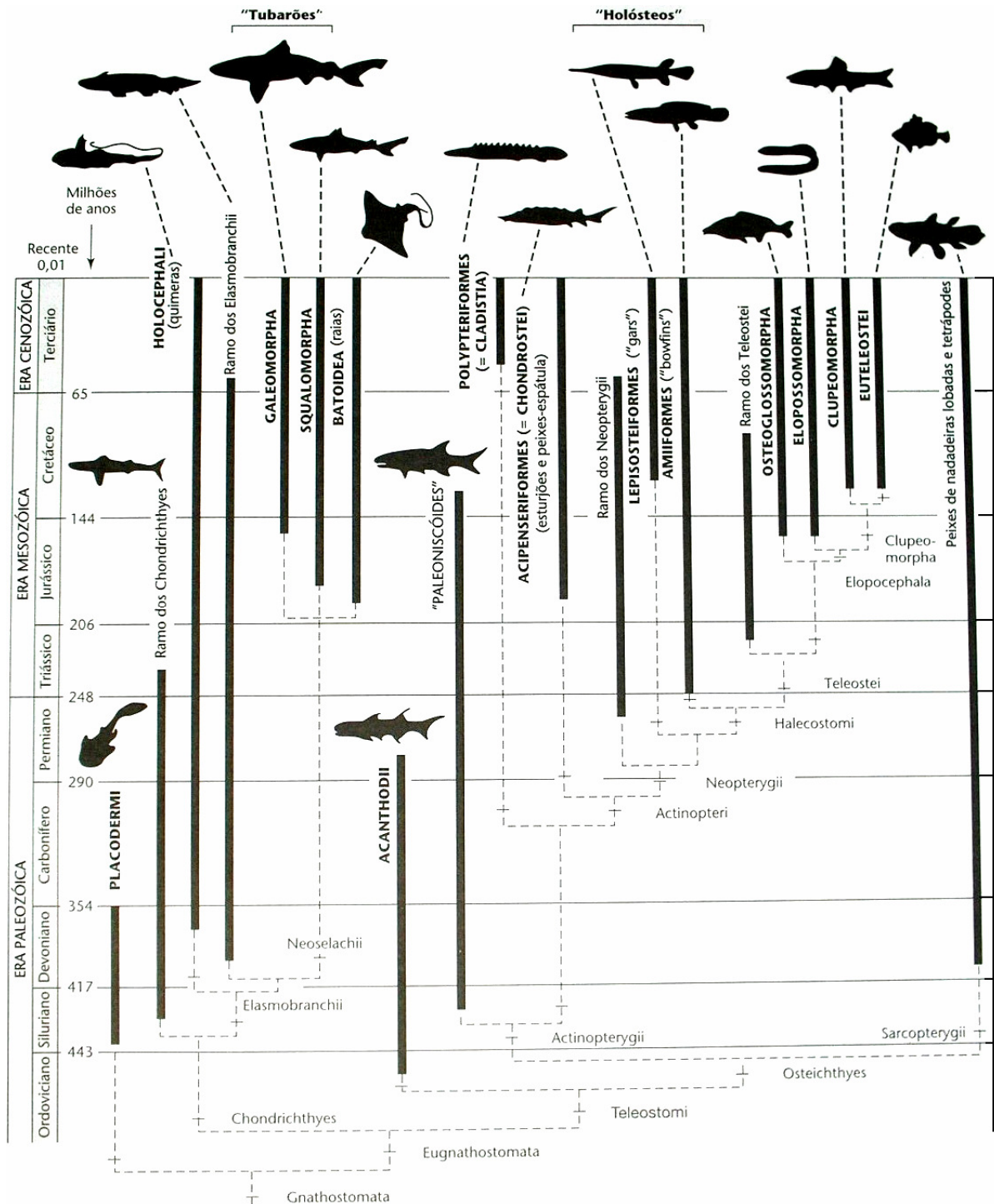


FIGURA 1 - Diagrama das relações filogenéticas entre os peixes com mandíbula, com possíveis parentescos entre os principais grupos basais, e correlação com o tempo geológico. Linhas pontilhadas indicam apenas parentesco, não a época de divergência. Barras verticais interrompidas indicam linhagens extintas. FONTE: POUGH; JANIS; HEISER, 2003.

É possível que haja uma relação de causa e efeito entre a duplicação específica do genoma dos peixes e a grande diversidade dentro do grupo Teleostei (MEYER; VAN DE PEER, 2005), que é representado por aproximadamente 27.000 peixes (NELSON, 2003 *apud* RAVI; VENKATESH, 2008). Teleósteos são o maior o mais diverso grupo dentro dos vertebrados, e sua diversidade é atribuída ao evento de duplicação completa do genoma por alguns autores, correlação bastante discutida pela comunidade acadêmica (RAVI; VENKATESH, 2008).

Santini *et al.* (2009) afirmam que a duplicação específica do genoma dos peixes pode ser responsável em 10% pela diversidade dos Teleostei, mas aproximadamente 88% de sua diversidade seria derivada de duas radiações recentes. As evidências paleontológicas sugerem que o evento de duplicação teria ocorrido há 320 milhões de anos (MEYER; VAN DE PEER, 2005), e não recentemente.

As rápidas mudanças no genoma, em sequências codificantes e nos elementos não-codificantes conservados, dos peixes teleósteos podem ter importante papel na diversidade do grupo (RAVI; VENKATESH, 2008). Tais eventos sugerem que seus genomas apresentam maior plasticidade em relação aos demais vertebrados (VENKATESH, 2003), e que estejam evoluindo mais rápido se comparados a mamíferos e peixes cartilaginosos basais (RAVI; VENKATESH, 2008).

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO

O termo “peixe” é atribuído a um grupo de organismos parafilético, ou seja, grupo cujo ancestral comum mais recente está incluso, mas nem todos os seus descendentes estão (NELSON, 1994). Assim, o termo não assume um caráter taxonômico, e é utilizado por conveniência para reunir grupos de vertebrados com características similares (POUGH; JANIS; HEISER, 2003). De forma artificial, seria o grupo composto pelos vertebrados aquáticos que apresentam brânquias em algum momento da vida e articulações nas nadadeiras, caso estejam presentes (NELSON, 1994).



A abrangência do termo “peixe” é dependente do autor que o emprega. Segundo Nelson (1994), alguns o utilizam para referir-se aos peixes ósseos mandibulados, outros incluem tubarões, raias e correlatos, e o próprio autor afirma incluir, ainda, os vertebrados sem mandíbula. Segundo Orr (1986), consideram-se “peixes” indivíduos de quatro classes distintas de vertebrados, sendo elas Agnatha, Placodermi, Chondrichthyes e Osteichthyes.

Barletta e Correa (1992) afirmam que os principais sistemas de classificação tendem a ser arbitrários, e que, por esse motivo, a ordenação dos diversos táxons é um assunto controverso e complicado.

O estudo da sistemática de peixes tem uma longa história, com divergências entre autores e abordagens, diversas famílias fracamente classificadas, e esperanças de que a construção de cladogramas com associação entre dados moleculares e morfológicos seja esclarecedora para o entendimento das relações filogenéticas (NELSON, 1994).

## 2.3 ANATOMIA

### 2.3.1 Morfologia Externa e Topografia

Os peixes geralmente apresentam simetria bilateral e seu corpo é, geralmente, dividido nas seguintes regiões: cabeça, tronco e cauda (FIGURA 2) (HILDEBRAND, 1995). Há espécies que apresentam a cabeça e o tronco fundidos formando um disco, como as raias (Batoidea) (BARLETTA; CORREA, 1992).

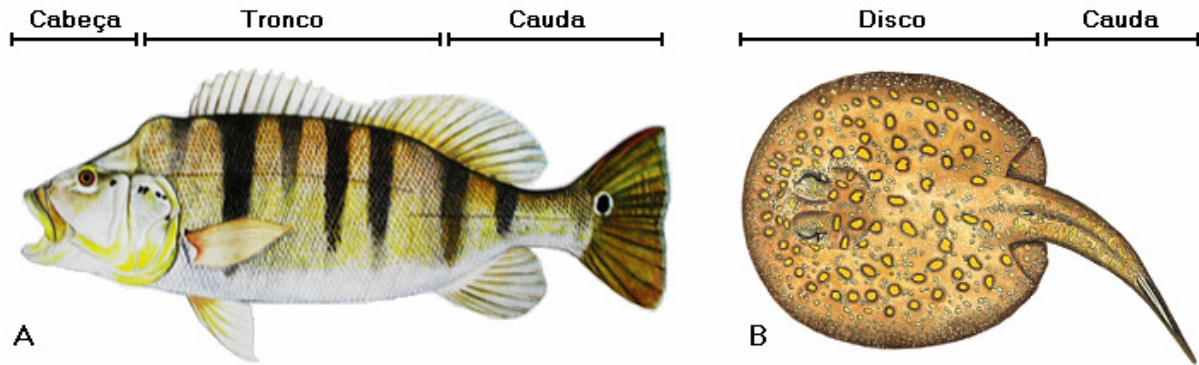


FIGURA 2 – Ilustrações de peixes representando duas possíveis morfologias gerais externas, e suas respectivas regiões do corpo. Em A, exemplar do peixe ósseo tucunaré (*Cichla*). Em B, observar exemplar de peixe cartilaginoso, uma raia (*Potamotrygon motoro*). Ilustrações fora de escala. FONTE: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO, 2006.

Possuem forma muito variada, porém, de modo geral, podem ser agrupados, com relação ao plano transversal, em circulares, comprimidos, deprimidos e truncados, e ao plano longitudinal, em alongados, fusiformes, cilíndricos e truncados (FIGURA 3) (BARLETTA; CORREA, 1992).

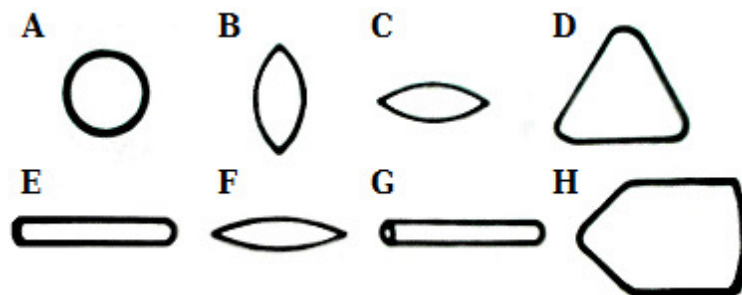


FIGURA 3 - Esquemas de cortes em planos transversais (A-D) e longitudinais (E-H) do corpo de peixes. A, circular; B, comprimido; C, deprimido; D, truncado; E, alongado; F, fusiforme; G, cilíndrico; H, truncado. FONTE: BARLETTA; CORREA, 1992.

O corpo dos peixes varia, em comprimento, de 8mm, em cabozes (algumas espécies da família Gobiidae) do Oceano Índico, a 12m, no tubarão-baleia (*Rhincodon typus*); pode apresentar-se bastante colorido ou em tons monótonos (NELSON, 1996). Muitos apresentam formas que proporcionam nados ágeis, outros têm formatos que desafiam a hidrodinâmica (NELSON, 1994). O formato do corpo e sua anatomia permitem deduzir informações sobre o nado e o modo de vida de um peixe (THE EDUCATION PROGRAM AT THE NEW JERSEY MARINE SCIENCES CONSORTIUM, 2009).

Para propulsão na água, sabe-se que a forma do corpo que demonstra ser a mais eficiente é a fusiforme. Nota-se que a maioria dos peixes possui este padrão corporal, associado ao achatamento lateral da parte caudal do corpo, e a sua extremidade cranial apresenta a ponta dirigida para frente e a sua porção de maior largura não muito distante da extremidade da mesma (ROMER; PARSONS, 1985). Sabe-se que esta é a forma corpórea (FIGURA 4a) mais eficaz para natação rápida em mar aberto, apresentada por tubarões e atuns (HYMAN, 1966; THE EDUCATION PROGRAM AT THE NEW JERSEY MARINE SCIENCES CONSORTIUM, 2009).

Não obstante, o formato comprimido lateralmente, como o apresentado pelo bodião-de-pinta, oferece grande velocidade para pequenas distâncias (FIGURA 4b), enquanto o formato deprimido dorso-ventralmente, exemplificado pelas raia, permite um nado similar ao vôo das aves (FIGURA 4c). Peixes com formato de fita, como o peixe-caximbo, desenvolvem um nado similar ao das cobras (FIGURA 4d) (THE EDUCATION PROGRAM AT THE NEW JERSEY MARINE SCIENCES CONSORTIUM, 2009).

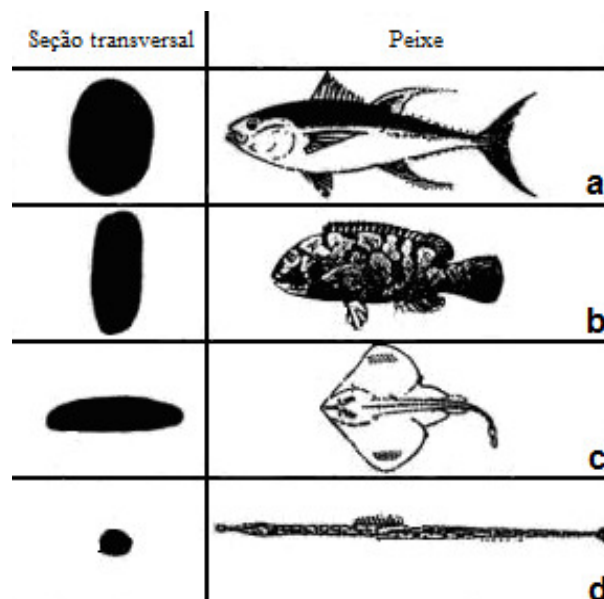


FIGURA 4 - Correlação entre formato do corpo e seção transversal. Cada formato induz um tipo de nado, e os seguintes peixes ilustram como exemplo: a, atum (*Thunnus*); b, bodião-de-pinta (*Tautoga*); c, raia (*Raja*); d, peixe-caximbo (*Syngnathus*). FONTE: THE EDUCATION PROGRAM AT THE NEW JERSEY MARINE SCIENCES CONSORTIUM, 2009.

O deslocamento no meio aquático envolve uma série de adaptações morfológicas, sendo as principais: área da superfície do corpo e das nadadeiras, velocidade e extensão de seus movimentos alternados e o ângulo de ataque. Respeitando essas adaptações, em animais rápidos, a área da cauda é grande em relação ao corpo, o comprimento do corpo é pequeno e apresenta pouca flexibilidade (YOUNG, 1981).

Considerando-se os aspectos morfométricos e taxonômicos é possível mensurar as seguintes dimensões do corpo de um peixe (FIGURA 5): comprimento total; comprimento da cabeça e ou do disco; comprimento do dorso; espaço interdorsal; espaço pós-dorsal; sulco pré-caudal e comprimento das nadadeiras e das suas respectivas bases (BARLETTA; CORREA, 1992).

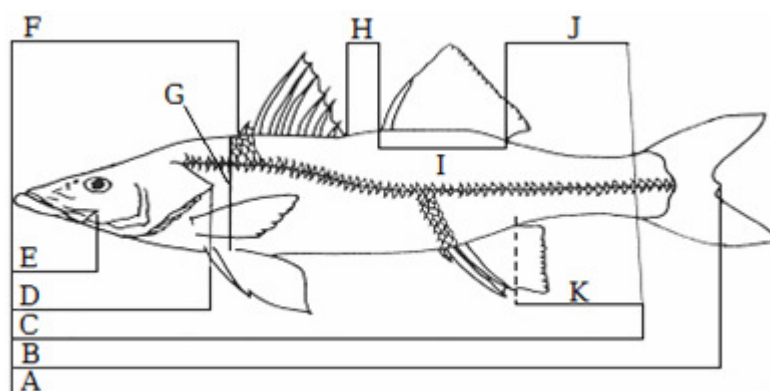


FIGURA 5 - Representação esquemática de algumas dimensões possíveis de serem mensuradas em peixes. A= comprimento total; B= comprimento furcífero; C= comprimento padrão; D= comprimento da cabeça; E= comprimento da maxila; F= distância pré-dorsal; G= altura do corpo; H= espaço interdorsal; I= comprimento da base da 2ª nadadeira dorsal; J= distância pós-dorsal; K= pedúnculo caudal. FONTE: BARLETTA; CORREA, 1992.

Na região da cabeça localizam-se as seguintes estruturas anatômicas: os olhos, a boca, os dentes, as narinas ou aberturas nasais, os espiráculos, as estruturas respiratórias (opérculos, poros ou fendas branquiais e brânquias) e as acessórias (poros, cirros dermais e barbilhões) (FIGURA 6). Todavia, sabe-se que em algumas espécies há agenesia dos dentes e observam-se nos Chondrichthyes a presença de membranas nictitantes no canto medial do bulbo do olho e sulcos labiais na boca (BARLETTA; CORREA, 1992). Especificamente na cabeça pode-se determinar morfometricamente o comprimento do espaço internasal, da boca e do focinho e o comprimento e altura do disco.

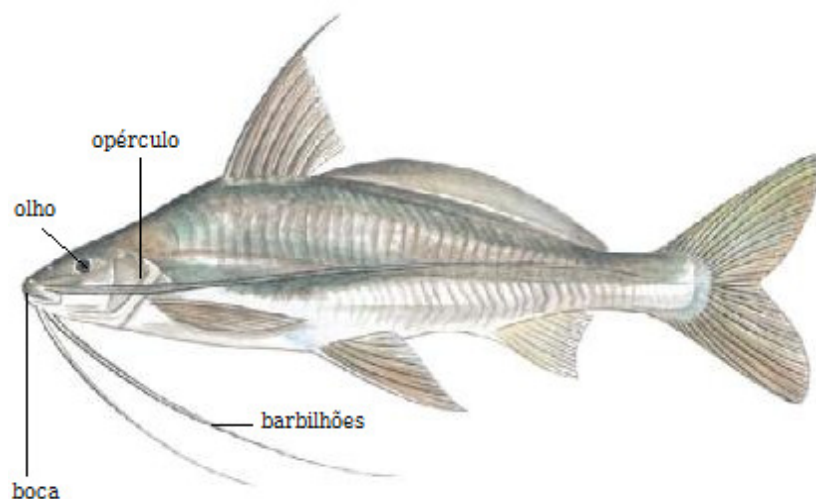


FIGURA 6 - Ilustração de bagre *Pirinampus pirinampu*, representando algumas estruturas da cabeça. FONTE: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO, 2006.

O tronco apresenta, com exceções, as nadadeiras pares (peitorais e pélvicas ou ventrais) e as ímpares (anais e dorsais em número de uma ou duas). É possível observar a origem, a base (inserção), o ápice e as margens craniais e caudais (externa) e internas das nadadeiras.

Quanto ao dimorfismo sexual, é notada nos Chondrichthyes machos a presença de uma estrutura anatômica intromitente auxiliar na reprodução denominada de clássper, e nos Batoidea ocorre ainda a axila da nadadeira peitoral com a mesma função (BARLETTA; CORREA, 1992).

A cauda está limitada pela cloaca ou ânus e, algumas vezes, é subdividida em pedúnculo, delimitada entre o último raio da nadadeira anal e o início da nadadeira caudal (FIGURA 5). Quanto à nadadeira caudal dos Chondrichthyes, sabe-se que apresenta os lobos superior (margens pré e pós-dorsais) e inferior (margens pré e pós-dorsais) (BARLETTA; CORREA, 1992).

### 2.3.2 Aparelho Locomotor

O que talvez possa ser apontado como a característica única reconhecível dentro da grande diversidade dos peixes é seu modo de locomoção, a natação (POUGH; JANIS; HEISER, 2003). Charles Breder, em 1926, foi o primeiro a realizar

uma classificação das formas de natação dos peixes, sendo seguido de muitos outros que a modificaram e subdividiram (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

Nos peixes, a coluna vertebral funciona como eixo (FIGURA 7), sujeita a modificações de acordo com os tipos de articulações, e associada a ela encontram-se feixes musculares segmentados em miômeros, cuja contração sequencial gera a ondulação do corpo, propulsionando o peixe (YOUNG, 1981). A natação é decorrente de uma série de contrações crânio-caudais destes segmentos musculares, que empurram a água para trás e para os lados, sendo que a maior parte da força é gerada na região mais caudal do peixe (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

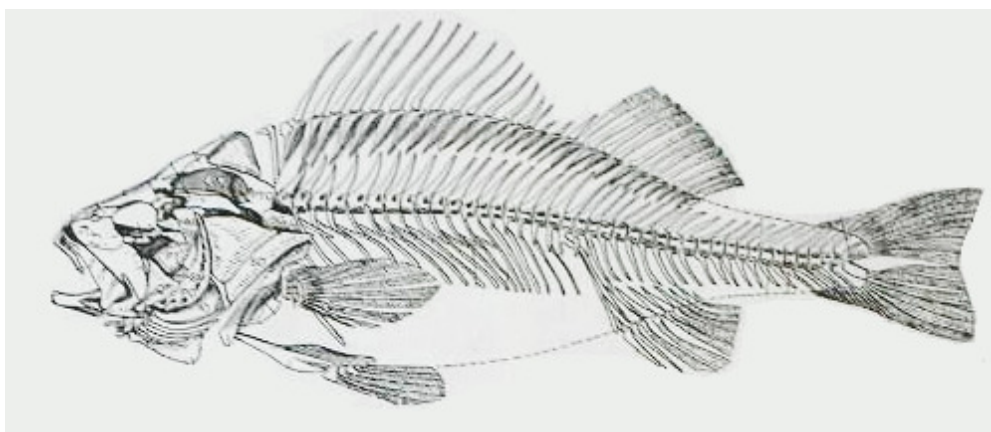


FIGURA 7 - Figura ilustrativa do arcabouço esquelético de peixe ósseo (componentes do esqueleto axial). FONTE: ROMER & PARSONS, 1985.

Os peixes apresentam grande variação dos elementos vertebrais (ROMER; PARSONS, 1985; KENT, 1987). A coluna vertebral dos peixes pode apresentar variações regionais, por mais que, diferentemente da maioria dos tetrápodes, as costelas possam estar presentes em todas as vértebras, desde a região cervical até a base da cauda. As vértebras cervicais, por exemplo, são distinguíveis das demais por apresentarem arcos hemais (ROMER; PARSONS, 1985).

Os arcos neurais estão presentes em todos os casos, com variações quanto às cartilagens e elementos acessórios (FIGURA 8). Nos Agnatha encontram-se apenas pequenas cartilagens, enquanto nos Chondrichthyes há elementos neurais acessórios que preenchem as fendas entre os arcos e formam uma bainha cartilaginosa contínua envolvendo a medula espinhal. Os arcos hemais apresentam-se semelhantes aos dos amniotas em peixes, exceto por sua inserção nos elementos centrais ser variável (ROMER; PARSONS, 1985).



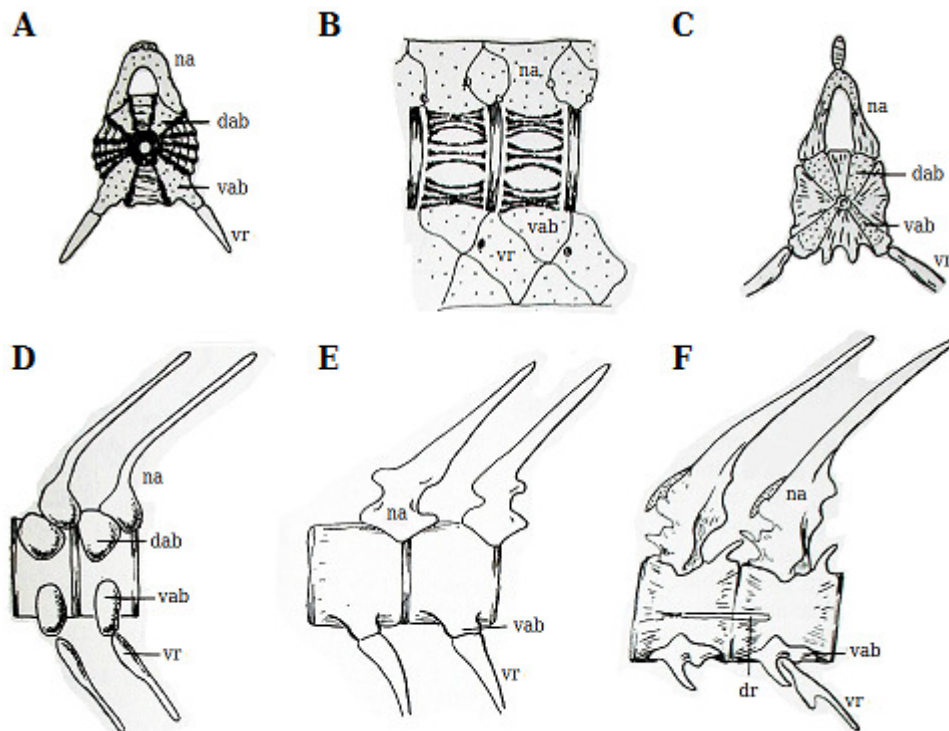


FIGURA 8 - Ilustração esquemática de vértebras do tronco de peixes. A, corte transversal em vértebra de tubarão *Lamna*, exibindo as bases do arco encaixadas no centro. B, vista lateral de duas vértebras da coluna de *Lamna*. Atentar para os elementos entre os arcos neurais, que completam o fechamento do canal para a passagem da medula vertebral. C, corte transversal em vértebra de teleósteo *Esox*; sua estrutura é similar àquela do tubarão. D, vista lateral de duas vértebras de peixe ósseo *Amia* jovem, exibindo bases dos arcos dorsais e ventrais distinguíveis do centro. E, vista lateral de vértebras de *Amia* adulto, bases dos arcos incorporadas ao centro. F, vista lateral das vértebras de *Esox*; como no tubarão, as bases dos arcos dorsais estão escondidas pelos arcos neurais. na, arcos neurais; dab, base do arco dorsal; vab, base do arco ventral; vr, costela ventral; dr, costela dorsal. FONTE: ROMER; PARSONS, 1985.

Nos peixes, poucos músculos inserem-se diretamente sobre as vértebras, e a força muscular é exercida, em sua maioria, sobre septos de tecido conjuntivo situados entre segmentos musculares sucessivos. As costelas situam-se em pontos estratégicos nestes septos, tornando a força muscular mais eficaz. Os ciclóstomos não apresentam costelas. Em muitos peixes ósseos encontram-se apenas costelas ventrais, mas alguns grupos de teleósteos apresentam ambas dorsais e ventrais (ROMER; PARSONS, 1985).

Em tetrápodes mais derivados, articulações complexas entre parte caudal do crânio e primeiras vértebras cervicais (articulação atlantooccipital) permitem a movimentação da cabeça. Nos peixes, a articulação entre parte caudal do crânio e primeira vértebra cervical é uma formação arredondada simples, não desenvolvida,

pois cabeça e tronco movem-se como uma unidade (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

Na maioria dos vertebrados, a caixa craniana forma uma estrutura definitiva e complexa, fundida com elementos ósseos dérmicos e viscerais (ROMER; PARSONS, 1985). Todavia, em Ciclóstomos e Chondrichthyes, devido à ausência de estruturas ósseas dérmicas, a caixa craniana é um elemento pouco desenvolvido esqueleticamente.

O esqueleto das nadadeiras medianas tem sua formação no septo mediano dorsal, acima dos espinhos neurais. Os processos neurais e hemais podem contribuir para a sustentação da nadadeira caudal, o que não ocorre com as demais nadadeiras medianas. Estas, em alguns tubarões e quimeras, apresentam espinhos cranialmente que atuam como “talha-mar”. Acantódios fósseis apresentam estes espinhos em todas as nadadeiras, exceto nas caudais, e ostracodermos e alguns placodermos apresentam fileiras de espinhos agindo como estabilizadores, na ausência de nadadeiras (ROMER; PARSONS, 1985).

Geralmente, nos peixes, as nadadeiras peitorais são mais importantes como direcionadoras do movimento que as pélvicas. Estas estão mais comumente ausentes, reduzidas ou deslocadas (ROMER; PARSONS, 1985). Peixes-zebra (*Danio rerio*) adultos são capazes de regenerar uma nadadeira completa, incluindo cartilagens, ossos e nervos, em um processo conhecido como regeneração epimórfica (MOSS *et al.*, 2009).

DIOGO *et al.* (2008) relatam que há escassez de trabalhos referentes ao sistema muscular de peixes, todavia, descrevem que existe um maior interesse por parte dos estudiosos na abordagem da anatomia comparada do sistema esquelético.

A maior parte da massa corpórea dos peixes é formada pela musculatura axial, que se dispõe ao longo dos flancos segmentarmente e forma o principal órgão locomotor do peixe (ROMER; PARSONS, 1985). A musculatura do tronco apresenta-se na forma de segmentos sucessivos, os miômeros, que se distribuem ao longo do flanco e correspondem ao número de vértebras (FIGURA 9) (HARDER, 1975 *apud* MUNSHI; DUTTA, 1996).



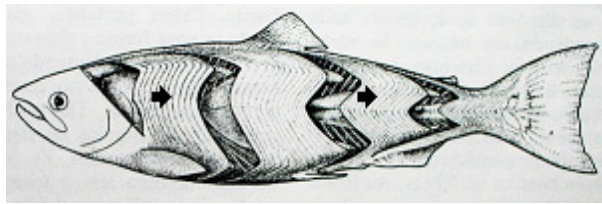


FIGURA 9 - Figura esquemática de peixe ósseo ilustrando a disposição da musculatura axial ao longo do corpo e as divisões em miômeros (flechas).  
FONTE: ROMER; PARSONS, 1985.

O sistema muscular axial constitui uma grande porção da massa corporal na maioria dos peixes. Por exemplo, representa 67% em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) e 68% em bonito-da-barriga-listrada (*Katsuwonus pelamis*) (MUNSHI; DUTTA, 1996).

A segmentação do corpo em miôtomos é muito evidente, pois cada miôtomo forma um segmento muscular ou miômero. Estes músculos axiais estão divididos em porção epaxial e hipo-axial por meio de um septo lateral horizontal, e entre si por meio de septos transversos, os miocomas (FIGURA 10) (HILDEBRAND, 1995).

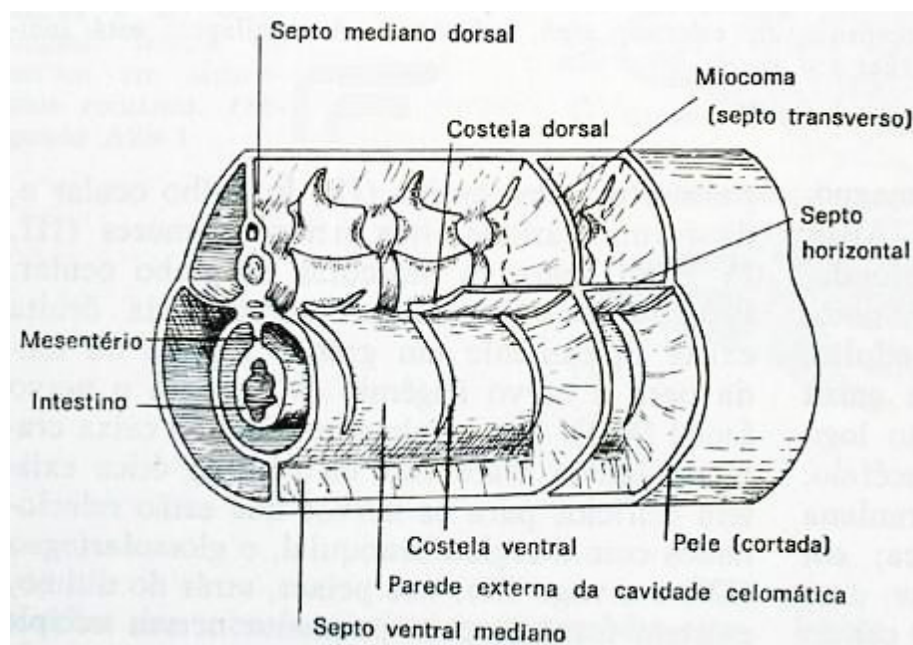


FIGURA 10 - Esquema de corte de tronco de peixe em vista lateral esquerda, com a musculatura axial removida, ilustrando os septos de tecido conjuntivo. FONTE: ROMER; PARSONS, 1985.

Miômeros originam-se e inserem-se em largas porções de tecido conjuntivo, formadas na maior parte por fibras colágenas, denominadas miosseptos. Estas estruturas estão anexadas, medialmente, à vértebra adjacente pelo seu processo vertebral e, lateralmente, à pele. As inserções musculares, como nos tetrápodes, se dão através de tendões e aponeuroses (MUNSHI; DUTTA, 1996). Os miômeros dobram-se em zigue-zague, favorecendo a eficiência muscular. Em ciclóstomos, sua estrutura é simples; em peixes mandibulados, entretanto, há um dobramento. Em vista superficial, cada miômero apresenta-se em forma de W, com as “pernas” do W voltadas anteriormente (HILDEBRAND, 1995). Os miômeros ancestrais apresentavam-se na forma de V, com o ápice ao nível da notocorda, e um braço longo apontando ventralmente. Miômeros similares em forma de V são encontrados atualmente em anfioxos e larvas de peixes (BONE; MARSHALL; BLAXTER, 1995).

As contrações da musculatura lateral do corpo produzem curvaturas sucessivas em lados opostos, que se deslocam ao longo do tronco caudalmente, deslocando o animal para frente. O direcionamento e a estabilidade destes movimentos são efetuados pela presença de nadadeiras, que impedem o corpo de rolar ou girar (ROMER; PARSONS, 1985). A maioria muda o formato do corpo para se deslocar, embora alguns peixes realizem certos tipos de nado que não necessitam alterar seu formato (BONE; MARSHALL; BLAXTER, 1995).

Uma estrutura que os peixes podem apresentar e que facilita seu deslocamento vertical e a manutenção da sua posição na coluna d'água é a bexiga natatória (STRAND; JØRGENSEN; HUSE, 2005). Constitui-se de uma vesícula cuja parede é composta por fibras colágenas entrelaçadas, sendo praticamente impermeável a gases em sua condição plesiomórfica, e situa-se na região dorsal da cavidade celomática, logo abaixo da coluna vertebral (FIGURA 11). Apresenta também outras funções, como respiratória em peixes pulmonados (Dipnoi), função de respiração acessória em alguns Teleostei, e sensorial no aparelho de Weber de Ostariophysi (POUGH; JANIS; HEISER, 2003). As glândulas de gás das bexigas natatórias produzem surfactantes, e assim reduzem a pressão superficial da interface ar-líquido, auxiliando para que suas paredes não colabem (PREM *et al.*, 2000).

Em peixes fisóstomos (do grego *phys* = bexiga e *stom* = boca), a bexiga natatória apresenta conexão com o aparelho digestório através do ducto pneumático (FIGURA 11) (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

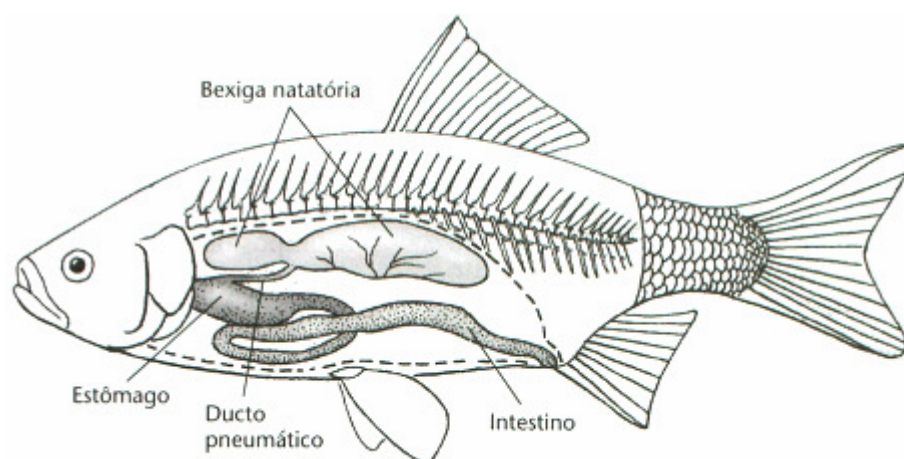


FIGURA 11 - Ilustração de Actinopterygii fisóstomo exibindo bexiga natatória e estruturas do aparelho digestório. O ducto pneumático conecta a bexiga natatória ao estômago e, assim, ao meio externo. FONTE: POUGH; JANIS; HEISER, 2003.

Em peixes fisóclistos (do grego *clist* = fechado), não há ducto pneumático comunicando bexiga natatória com aparelho digestório. Estes peixes controlam o volume da bexiga natatória secretando gases do sangue no interior da mesma (FIGURA 12) (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

As glândulas de gás da bexiga natatória secretam ácido láctico e  $\text{CO}_2$ , baixando o pH e induzindo o efeito *Root* no sangue (STRAND; JØRGENSEN; HUSE, 2005). O efeito *Root* ocorre em certos peixes, nos quais há uma resposta extrema gerada pela queda de pH, a qual induz à perda em quantidade acima da média de afinidade da hemoglobina pelo  $\text{O}_2$ , disponibilizando  $\text{O}_2$  localmente e tornando possível sua secreção (BRITTAIN, 2005). Assim, permite que a bexiga natatória seja inflada sem a necessidade de capturar ar atmosférico, dando lugar a uma conquista de novos habitats pelos peixes que apresentaram essa novidade evolutiva, deixando de depender da superfície (BERENBRINK *et al.*, 2005).

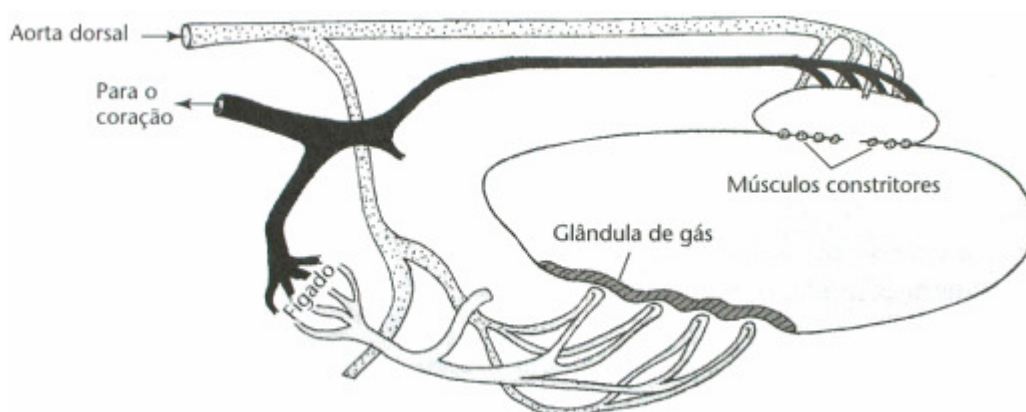


FIGURA 12 - Ilustração das conexões vasculares de bexiga natatória de peixe fisóclisto em vista lateral, expondo a ausência de ligação com o aparelho digestório. FONTE: POUGH; JANIS; HEISER, 2003.

O primeiro gênero no qual foi detectada a ausência de ducto-pneumático comunicando a bexiga natatória com o esôfago foi *Argentina* (FAHLÉN, 1965), um teleósteo da ordem Osmeriformes (ISHIGURO; MIYA; NISHIDA, 2003).

Os Ostariophysi (do grego, *ost* = osso e *physa* = bexiga) apresentam o aparelho de Weber, que permite utilizar a bexiga natatória como amplificador, por conectá-la à orelha interna por meio das primeiras vértebras modificadas (FIGURA 13). Este conjunto de ossículos modificados recebe o nome de Tripus, Intercalarium, Scaphium e Clastrum, e conectam a bexiga natatória à orelha interna. Este aparelho aumenta a sensibilidade auditiva destes peixes, que captam uma gama maior de frequências que os demais (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).

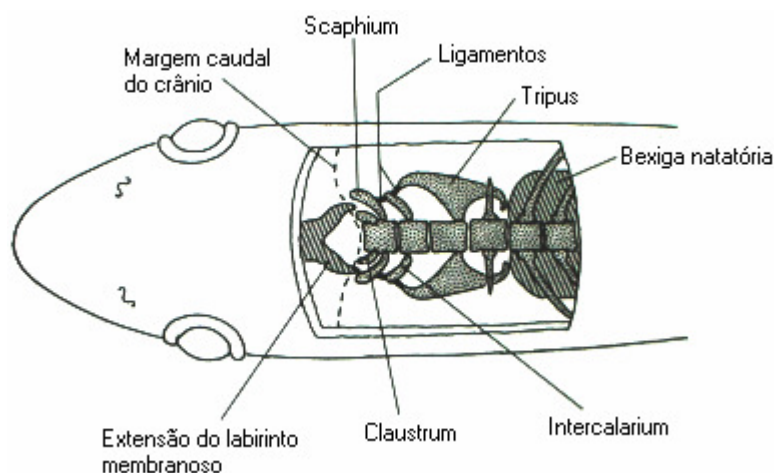


FIGURA 13 - Ilustração de Ostariophysi em vista dorsal, exibindo componentes do aparelho de Weber. FONTE: POUGH; JANIS; HEISER, 2003.

### 2.3.3 Sistema Circulatório

Nos peixes em geral - de ciclóstomos a teleósteos, exceto os dipnóicos -, o sistema circulatório é simples, e apenas sangue não-oxigenado passa pelo coração, de onde é bombeado para as brânquias, oxigenado, e, então, distribuído para o corpo (FIGURA 14) (ORR, 1986). A maior parte das funções do sistema circulatório refere-se ao transporte de substâncias: os tecidos precisam receber o oxigênio proveniente da respiração branquial, e os resíduos precisam ser levados até as brânquias e os rins para serem excretados (ROMER; PARSONS, 1985).

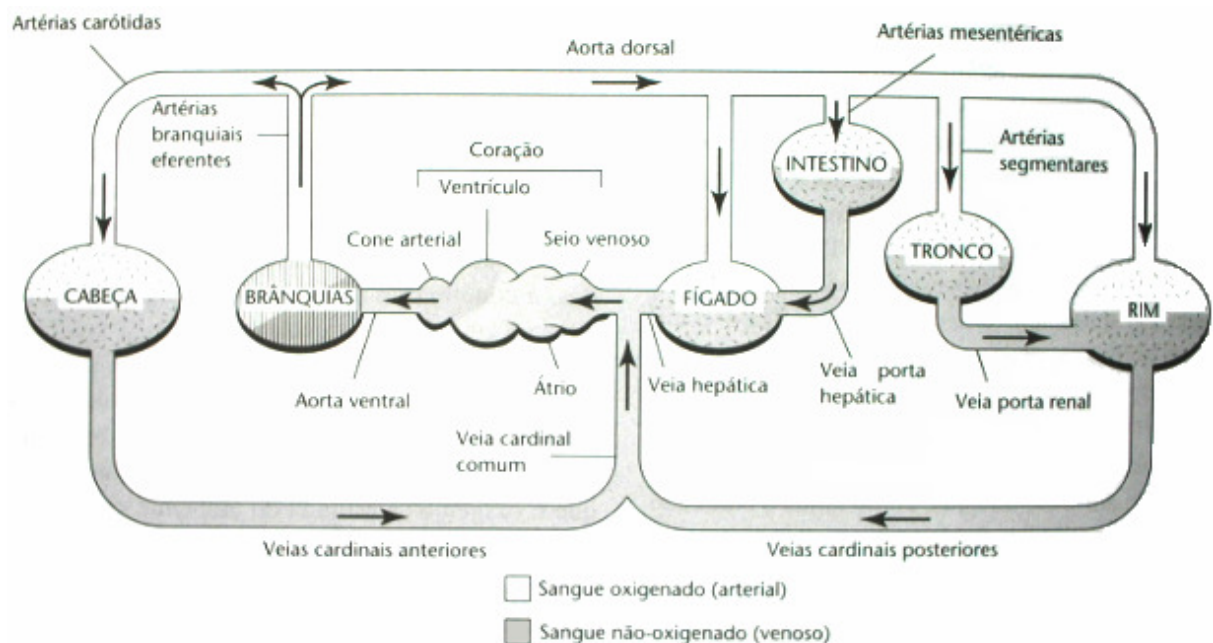


FIGURA 14 - Esquema do plano básico do circuito cardiovascular de peixes mandibulados (Gnathostomata). FONTE: POUGH; JANIS; HEISER, 2003.

O coração dos peixes possui quatro câmaras, mas somente duas (o “átrio” e o “ventrículo”) são correspondentes aos átrios e ventrículos pares dos vertebrados derivados. As demais câmaras são o seio venoso e o cone arterioso (FIGURA 15) (ORR, 1986).

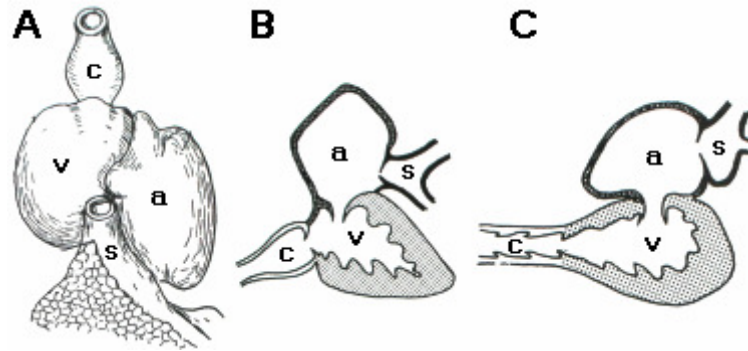


FIGURA 15 - Imagem ilustrativa do coração de diferentes grupos de peixes. A, coração de um ciclostomado, lampréia, em vista dorsal, exibindo arranjo simples entre as quatro câmaras. B, coração de peixe ósseo em vista lateral, exibindo o arranjo das quatro câmaras. C, coração de peixe cartilaginoso em vista lateral, exibindo o arranjo das quatro câmaras. **s**, seio venoso; **a**, átrio; **v**, ventrículo; **c**, cone arterioso. FONTE: HYMAN, 1966 (A), BONE; MARSHALL; BLAXTER, 1995 (B-C).

A primeira câmara é a receptora, tem paredes finas e é denominada seio venoso, do qual o sangue passa para o átrio, que também apresenta paredes finas. Do átrio, o sangue passa ao ventrículo, de paredes espessas, o qual bombeia o sangue, que passa pelo cone arterioso e chega à aorta ventral. Desta, o sangue segue para a região branquial, onde ocorre oxigenação, passando pelos vasos branquiais aferentes e deixa a região das brânquias pelas alças coletoras eferentes, passando para a aorta dorsal, da qual é distribuída para o corpo. A veia cardinal comum entra no seio venoso, e é formada pelas veias cardinais anteriores e posteriores (FIGURA 16) (POUGH; JANIS; HEISER, 2003).



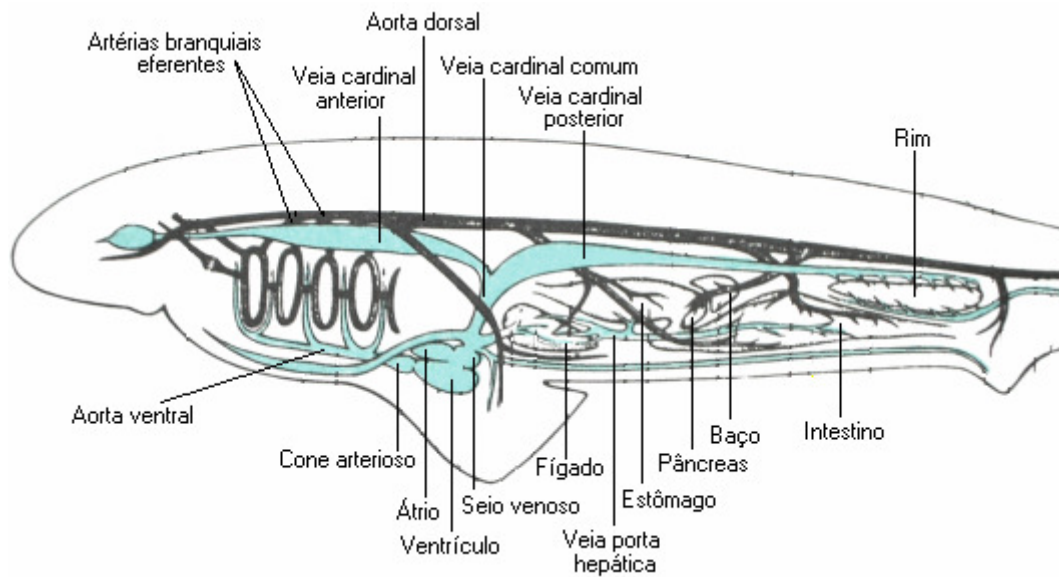


FIGURA 16 - Ilustração esquemática de vista lateral de sistema circulatório de tubarão, com principais vasos e estruturas indicados. Alguns órgãos presentes para facilitar compreensão do organismo. FONTE: ROMER; PARSONS, 1985.

Nos dipnóicos, os “peixes pulmonados”, as mesmas câmaras estão presentes, e há um septo que divide o átrio em duas câmaras (FIGURA 17); o sangue é bombeado do ventrículo para a bexiga natatória semelhante a pulmão através das artérias pulmonares, o sangue oxigenado retorna ao átrio esquerdo através das veias pulmonares, e é bombeado para o corpo (ORR, 1986).

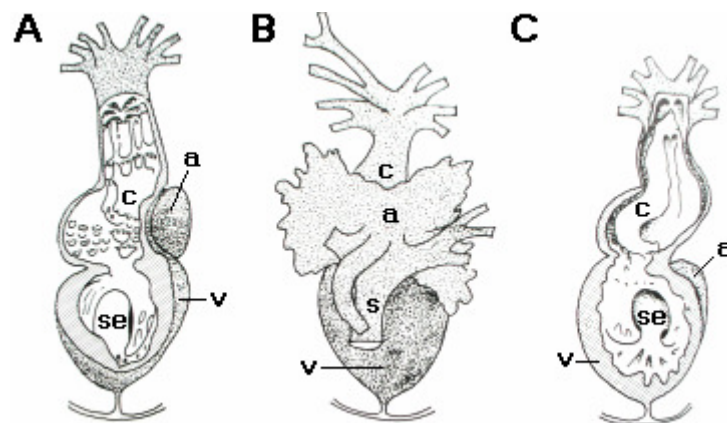


FIGURA 17 - Ilustrações de corações de peixes pulmonados (Dipnoi). A, coração de *Neoceratodus* aberto, em vista ventral. B, coração de *Protopterus* em vista dorsal. C, coração de *Protopterus* aberto, em vista ventral. s, seio venoso; a, átrio; v, ventrículo; c, cone arterioso; se, septo atrio-ventricular. FONTE: BONE; MARSHALL; BLAXTER, 1995.

### 2.3.4 Sistema Respiratório

As necessidades dos peixes de obter oxigênio para suas atividades metabólicas e livrar-se do dióxido de carbono são supridas pela água, seu meio circundante (ROMER; PARSONS, 1985). As trocas se dão, principalmente, através das brânquias internas (ORR, 1986).

Os peixes apresentam brânquias posicionadas em bolsas faríngeas, na região da cabeça. Devido ao nado, geralmente o fluxo de água é unidirecional, entrando pela boca e saindo pelas brânquias (FIGURA 18) (NELSON, 1994). Para prevenir o fluxo reverso, há abas bucais e abas nas margens do opérculo (cobertura das brânquias) atuando como válvulas (NELSON, 1994).

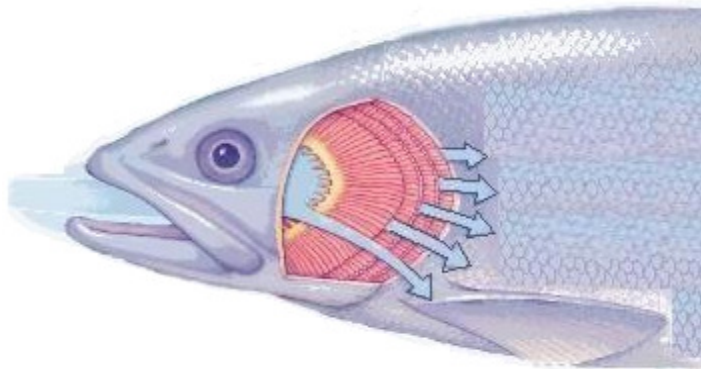


FIGURA 18 - Representação esquemática da direção do fluxo da água através das brânquias em peixe teleósteo. FONTE: LECTURE 16: respiratory and excretory systems, 2000.

Embrionariamente, as fendas branquiais são formadas a partir de uma série de evaginações da faringe, que, dirigindo-se lateralmente, encontram invaginações dirigidas medialmente, formando fendas nos locais de junção (ORR, 1986). Essas aberturas são flanqueadas por estruturas ósseas ou cartilaginosas que suportam os filamentos branquiais, sendo, então, cada brânquia formada por duas hemibrânquias (FIGURA 19) (ORR, 1986).



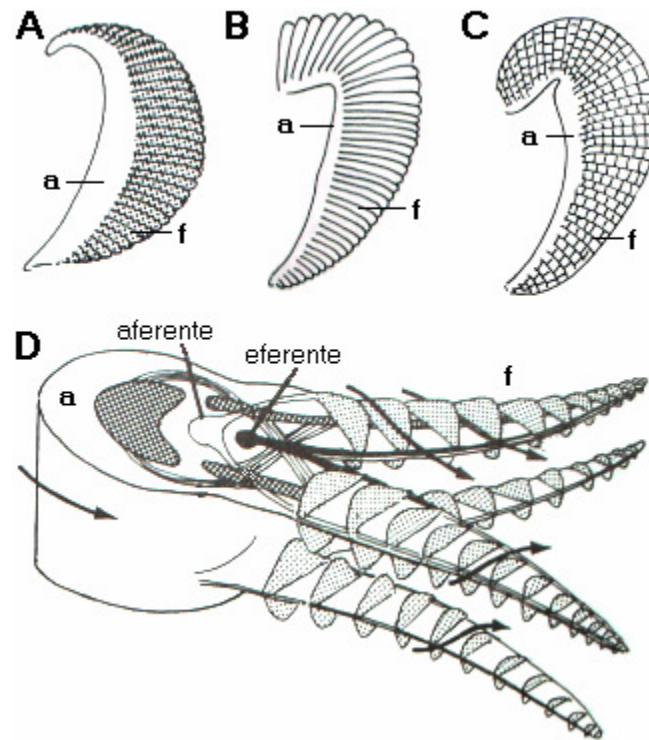


FIGURA 19 - Ilustrações referentes às hemibrânquias de peixes. Em A, padrão de hemibrânquia esquematizado. Em B, ilustração esquemática de hemibrânquia de atum *Katsuwonus*. Em C, ilustração esquemática de hemibrânquia de peixe-espada *Xiphias*. Em D, ilustração esquemática de corte transversal das estruturas apresentadas de A a C, exibindo os vasos aferentes e eferentes, com flechas apontando o sentido da água. **a**, arco branquial; **f**, filamentos branquiais. FONTE: BONE; MARSHALL; BLAXTER, 1995.

Nos Chondrichthyes, a faringe é um ducto longo e alargado, em cujas laterais encontram-se de cinco a sete fendas branquiais (ORR, 1986). Cranialmente às fendas, encontra-se um par de espiráculos, estruturas que auxiliam a entrada e direcionamento da água (ROMER; PARSONS, 1985). Em Osteichthyes, as brânquias estão dispostas segundo um plano similar ao dos tubarões, com a importante diferença da presença de um opérculo ósseo, estrutura em formato de placa que reveste externamente as brânquias (ROMER; PARSONS, 1985). Em peixes sem mandíbula, as brânquias estão presentes não em fendas branquiais, mas em bolsas esféricas, que apresentam pequenas aberturas, uma comunicando com a faringe, outra com o meio externo (FIGURA 20) (ROMER; PARSONS, 1985).

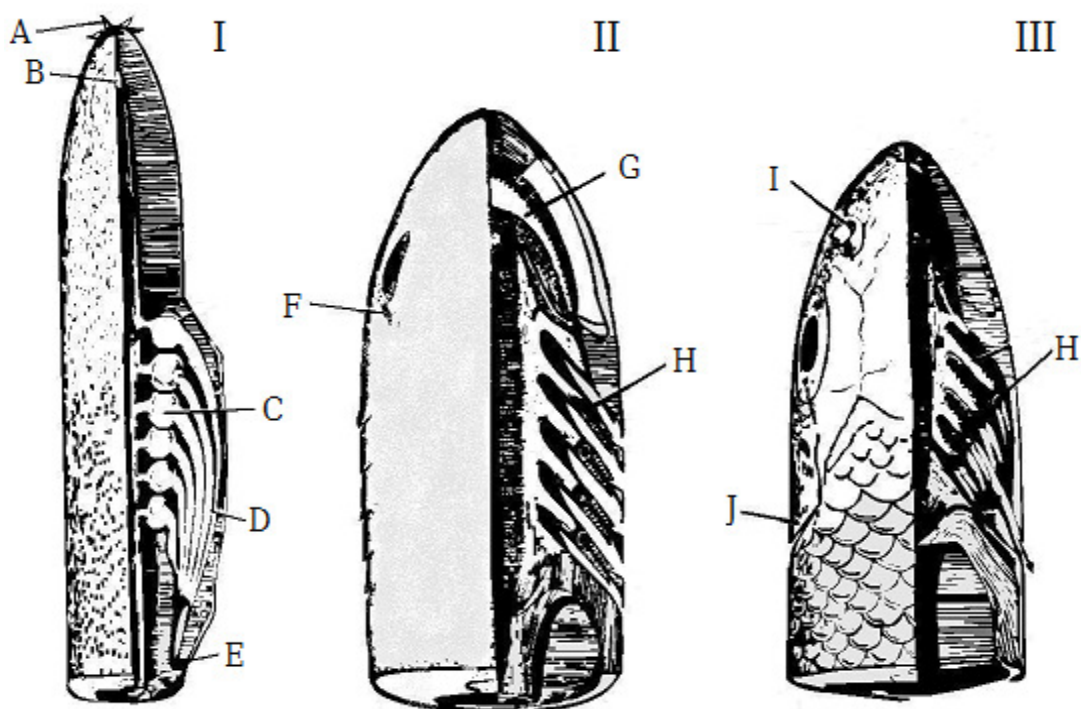


FIGURA 20 - Diagramas ilustrativos de cabeças de peixes em vista dorsal, hemi-seccionadas em plano médio-lateral longitudinalmente. Em I, feiticeira (*Myxine*) exibindo barbilhões (A), boca (B), sacos branquiais (C), ductos eferentes (D), abertura externa comum das bolsas branquiais (E). Em II, esquema de tubarão exibindo espiráculo (F), boca (G) e brânquias (H). Em III, esquema de teleósteo exibindo aberturas nasais (I), opérculo (J) e brânquias (H). FONTE: ROMER; PARSONS, 1985.

Dentre as 430 famílias de teleósteos, 42 desenvolveram algum tipo de órgão respiratório acessório, como estômagos ou bexigas natatórias com funções similares a pulmões (GRAHAM, 1997 *apud* PODKOWA; GONIAKOWSKA-WITALINSKA, 2003). Os peixes pulmonados, Dipnoi, apresentam pulmões verdadeiros, que realizam respiração diretamente através do ar (ICARDO *et al.*, 2005).

### 2.3.5 Sistema Reprodutor

É conhecida uma ampla gama de sistemas reprodutivos em peixes, de hermafroditismo a gonocorismo, podendo a determinação do sexo ser estritamente controlada por genes ou depender da influência do ambiente (PALA *et al.*, 2009).

Em geral, as fêmeas de peixes apresentam ovários, óstios, ovidutos, ductos mesonéfricos, intestinos e cloaca. Os machos apresentam ductos deferentes, testículos, parte genital do mesonefro, oviduto vestigial, parte excretora do mesonefro e ducto mesonéfrico (FIGURA 21) (ORR, 1986).

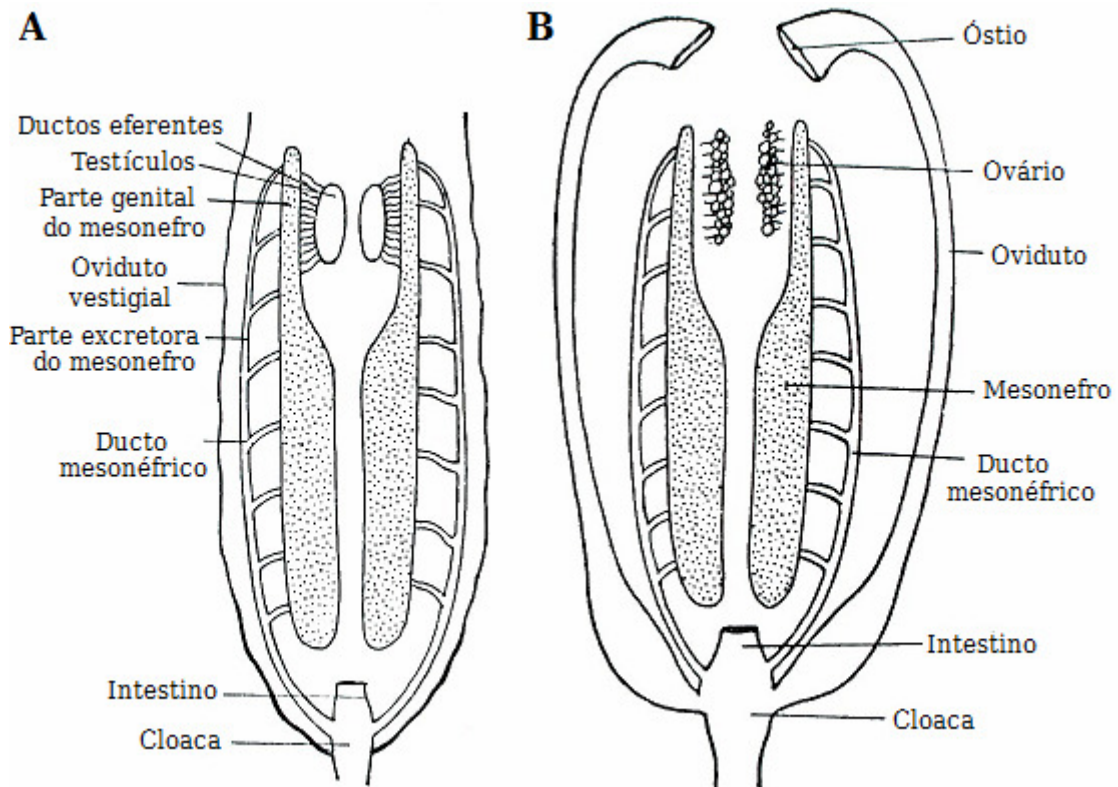


FIGURA 21 - Diagramas ilustrativos de sistemas reprodutivos de peixes machos e fêmeas. A, sistema reprodutor de macho elasmobrânquio exibindo as estruturas simplificada; o ducto mesonéfrico exerce funções de excreção e reprodução. B, sistema reprodutor de fêmea de elasmobrânquio exibindo as estruturas simplificada; o ovário não é conectado ao ducto mesonéfrico, que exerce função apenas de excreção, e o oviduto é bem desenvolvido. FONTE: HYMAN, 1966.

Nos indivíduos, as gônadas maduras funcionam como ovários ou testículos, mas não ambos simultaneamente. Os peixes ósseos e cartilagosos têm gônadas pares e, geralmente, sexos distintos. As fêmeas apresentam, normalmente, dois ovidutos, e em elasmobrânquios as extremidades superiores destes ovidutos são fundidas, havendo uma única abertura infundibular pela qual podem sair os óvulos. O testículo dos elasmobrânquios une-se à região cranial do ducto arquinéfrico por meio de alguns túbulos renais, de forma que parte do ducto desempenha função reprodutora, auxiliando a fertilização interna, que é possível pela presença de órgãos copulatórios nas partes internas das nadadeiras pélvicas (FIGURA 22) (ORR, 1986).

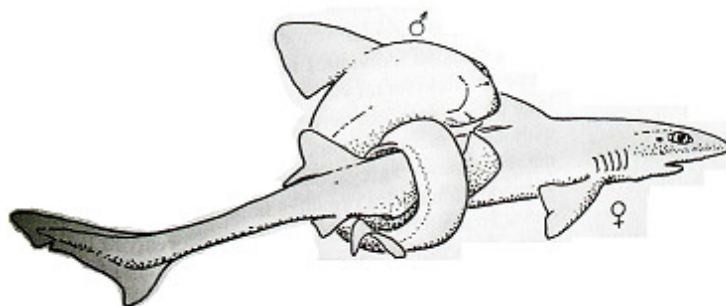


FIGURA 22 - Ilustração esquemática de cópula de tubarões do gênero *Scyliorhinus*. Para a cópula, o macho assume uma postura que permite a introdução do clássper masculino na cloaca feminina. FONTE: POUGH; JANIS; HEISER, 2003.

O registro mais antigo de viviparidade entre os vertebrados data de aproximadamente 380 milhões de anos atrás, em um placodermo da Formação Gogo, na Austrália (LONG *et al.*, 2009). Fósseis de placodermos *Arthrodira* apresentam evidências de que estratégias de viviparidade e fecundação interna, com estruturas semelhantes a clássperes nos machos, eram difundidos no grupo (AHLBERG *et al.*, 2009). Modelo similar ao de tubarões e arraia, ao contrário da maioria dos demais peixes atuais, que tendem a apostar em grande volume de prole, com postura de grandes massas de ovos (DENNIS, 2008). Também há evidências de viviparidade em celacantos (*Latimeria chalumnae*), de acordo com fósseis encontrados com celacantos em miniatura presentes no oviduto de uma fêmea (DIAMOND, 1985).

As gônadas dos peixes são parcialmente endócrinas, como as dos demais vertebrados, e, assim, são responsáveis por várias características sexuais secundárias, que, no geral, manifestam-se durante a estação de reprodução (ORR, 1986).

Sabe-se que o hermafroditismo funcional ocorre amplamente dentre os peixes ósseos (ATZ, 1965). Há ocorrência inclusive de espécies, como *Rivulus marmoratus*, que apresentam auto-fecundação interna com geração de progênie viável (HARRINGTON, 1961).

Em machos de *Sparus aurata*, a área testicular demonstrou desenvolver-se rapidamente, com indivíduos atingindo maturidade sexual antes de um ano de idade, enquanto os ovários nas fêmeas continuam a desenvolver-se durante os dois primeiros anos de vida (CHAVES-POZO *et al.*, 2009). Há evidências de que eosinófilos exerçam papel essencial na formação e renovação celular do tecido

testicular, devido à sua produção de Interleucina-1b, um importante fator de crescimento de células germinativas do testículo (CHAVES-POZO *et al.*, 2009).

VENESKY *et al.* (2005) afirmam que, em Cichlidae, a comunicação visual é importante para a interação sexual. Estudos com *Oreochromis niloticus*, espécie pertencente a esta família, observam que a comunicação visual entre parceiros influencia o comportamento reprodutivo, estimulando a corte e a produção de gônadas nos machos e a postura pelas fêmeas (CASTRO *et al.*, 2009).

O status social se demonstra importante na reprodução de peixes. Machos subordinados de *Astatotilapia (Haplochromis) burtoni* apresentam fertilidade reduzida, e necessitam ser promovidos a dominantes para reproduzir. Em situações nas quais ascensão social se demonstra possível, um macho subordinado pode assumir o papel de dominante em poucos minutos, devido a um súbito aumento na expressão de genes do cérebro, como *egr-1*, que levam à mudança dos padrões de coloração e ao desenvolvimento de comportamento dominante (BURMEISTER *et al.*, 2005).

A determinação do sexo de peixes é um processo flexível, sendo que alguns podem mudar de sexo de acordo com as condições às quais são submetidos (DEVLIN; NAGAHAMA, 2002). Em *Thalassoma duperrey*, a remoção do macho dominante do grupo pode desencadear uma mudança de sexo em fêmeas que percebem que os machos restantes são menores (ROSS *et al.*, 1983).

A comunicação para interação sexual pode ocorrer também por meio de sinais elétricos, como em peixes elétricos como *Sternopygus macrurus*, nos quais a sinalização difere de acordo com o sexo e maturidade (HOPKINS, 1972).

No período de diferenciação sexual, peixes são susceptíveis a compostos químicos presentes no meio. Machos da carpa comum (*Cyprinus carpio*) desenvolveram estruturas similares a ovidutos (FIGURA 23) em suas gônadas quando expostos a xenoestrógenos (4-tert-pentilfenol) (GIMENO *et al.*, 1996).

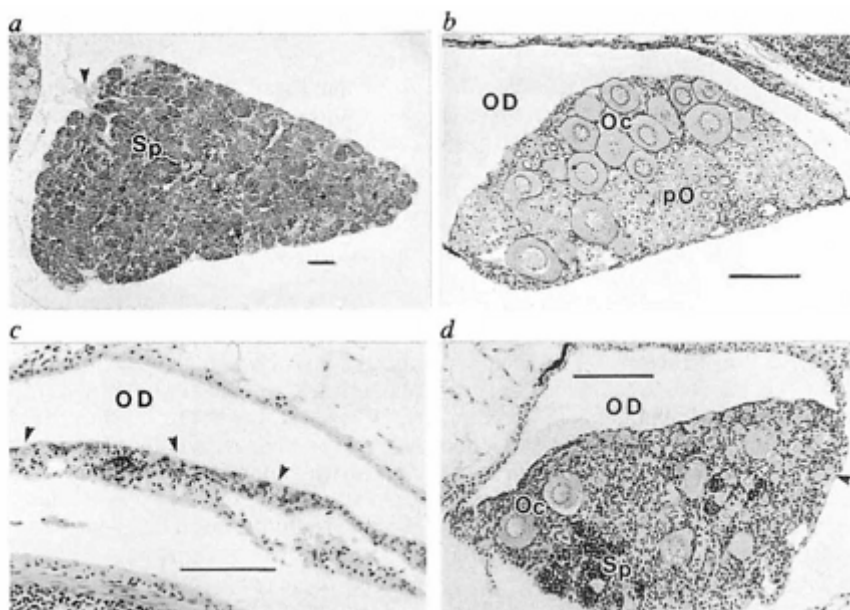


FIGURA 23 - Ilustrações de cortes histológicos em gônadas de *Cyprinus caprio*. a, gônadas normais de macho genético controle, com espermatogênese em Sp. b, ovário normal de fêmea genética, com oviduto em OD, oócitos em prófase em pO, e oócitos pré-vitelogênicos em Oc. c, macho genético com testes pouco desenvolvidas, apresentando oviduto (OD) e algumas células germinativas primordiais (flechas). d, gônadas de macho genético com ocorrência de espermatogênese (Sp) concomitante a oócitos pré-vitelogênicos (Oc), e apresentando oviduto (OD). FONTE: GIMENO *et al.*, 1996.

O hormônio adrenocorticotrópico parece exercer um papel supressor sobre a secreção de estradiol estimulada por gonadotropinas, evidenciando a influência do estresse sobre o comportamento reprodutivo (ALSOP *et al.*, 2009).

#### 2.3.6 Sistema Excretor

Os órgãos excretores diferem anatômica e funcionalmente. Os peixes, em geral, apresentam rins típicos de vertebrados, formados por néfrons, como órgãos de excreção não-especializados, e brânquias como órgãos de excreção especializados (SCHMIDT-NIELSEN, 1997).

Os rins dos peixes são do tipo mesonéfrico, com uma série de túbulos renais convolutos, que se dirigem para um ducto coletor comum longitudinal, o ducto arquinéfrico, que se comunica com o meio exterior, através da cloaca. A porção



proximal de cada um destes túbulos termina em uma cápsula do néfron, hemisférica, na qual está presente um glomérulo do sistema circulatório, e ambos formam o corpúsculo renal (FIGURA 24) (ORR, 1986).

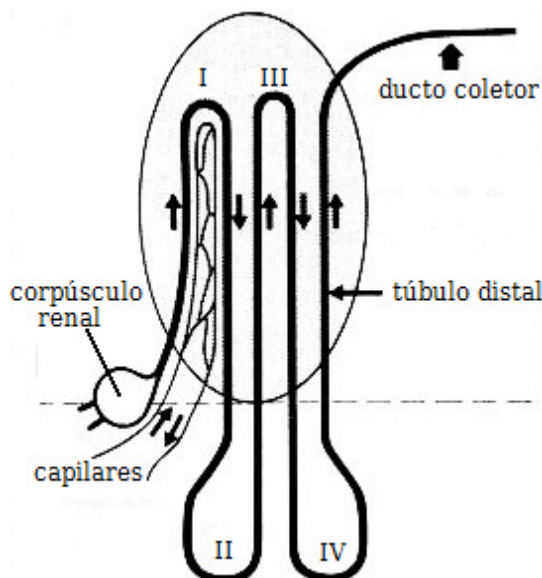


FIGURA 24 - Ilustração esquemática de néfron de elasmobrânquio, exibindo suas regiões anatômicas. I, II, III e IV indicam *loops*. FONTE LACY, 1984.

Alguns teleósteos são eurihalinos, ou seja, apresentam a capacidade de adaptar-se a variações na salinidade, importante para aqueles que migram entre ambientes de água doce e salgada ou que vivem em ambientes estuarinos (JOBILING, 2005; BOILY; REES; WILLIAMSON, 2007).

Os peixes teleósteos marinhos são hiposmóticos, mantêm sua concentração osmótica em torno de 1/4 a 1/3 da concentração da água do mar (PRODOCIMO, 2006), contendo em torno de 60% a menos de cloreto de sódio por litro que o ambiente marinho (EVANS, 2008). Sendo hiposmóticos em relação ao meio, estes peixes perdem água constantemente, e, como consequência, secretam pequenos volumes de uma urina isosmótica em relação ao plasma sanguíneo (EVANS, 2008). Também ocorre ingestão de água do mar, e subsequente excreção ativa de íons por células especializadas para eliminar o excesso de sais ingerido (SCHMIDT-NIELSEN, 1997). Devido à ausência de alça do néfron, os teleósteos não são capazes de secretar urina hiperosmótica (FIGURA 25) (NISHIMURA *et al.*, 1983).

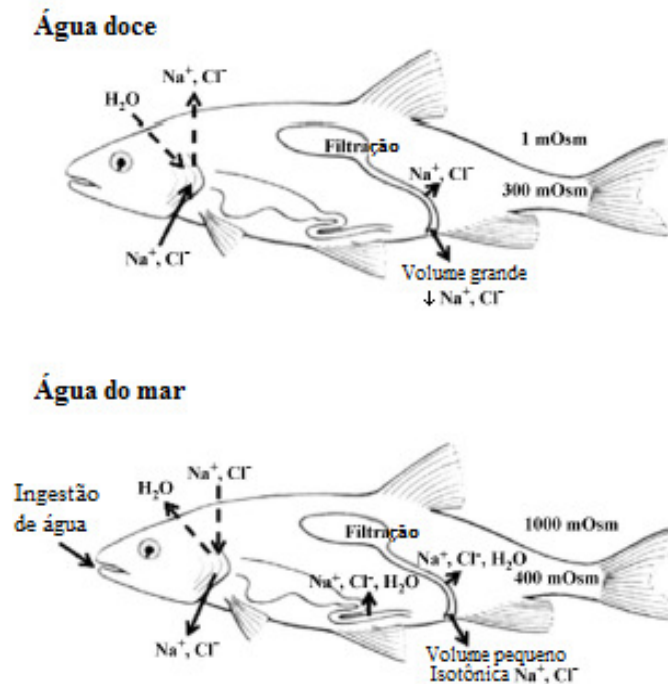


FIGURA 25 - Desenho esquemático da osmorregulação em teleósteos de água doce e salgada, demonstrando onde e quais trocas ocorrem. FONTE: EVANS, 2008.

Uma das principais estratégias de teleósteos para lidar com o balanço iônico são as células de cloreto, ou “células ricas em mitocôndrias”, existentes no epitélio das brânquias, que captam ou secretam íons (BOILY; REES; WILLIAMSON, 2007). Peixes de água doce captam íons através das brânquias, e peixes marinhos secretam (EVANS, 2008). Como o ambiente de água doce não é rico em íons cálcio, teleósteos os capturam através da alimentação, das brânquias e da pele (MCCORMICK; HASEGAWA; HIRANO, 1992).

A secreção de cloreto ocorrente nas brânquias de teleósteos marinhos é similar à que ocorre nos demais epitélios, sendo dependente da atividade da enzima  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase (FOSKETT *et al.*, 1983; BOILY; REES; WILLIAMSON, 2007). Sabe-se que a atividade desta enzima nas brânquias varia dependendo da aclimação a águas de diferentes salinidades (BOILY; REES; WILLIAMSON, 2007). Os hormônios prolactina e cortisol desempenham papéis importantes na diferenciação e variação em número das células de cloreto (FOSKETT *et al.*, 1983). Lampréias desenvolveram um mecanismo osmorregulatório análogo ao de teleósteos, onde as brânquias também exercem o papel principal na secreção de íons monovalentes (BARTELS; POTTER, 2004).



Sabe-se que teleósteos produzem precipitados de carbonato no intestino como subproduto da osmorregulação necessária pela alta ingestão de íons cálcio, o que ocorre quando se encontram em ambiente marinho (WILSON *et al.*, 2009).

Algumas particularidades do sistema excretor podem ser observadas entre diferentes grupos de peixes. Para evitar o congelamento, espécies de peixes antárticos apresentam glicoproteínas anticongelantes, e a ausência de glomérulos renais evita que estas sejam excretadas na urina (DOBBS *et al.*, 1974). Outros grupos não apresentam glomérulos, como peixes-cachimbo (*Syngnathus*), peixe-sapo (*Opsanus tau*), e tamboril-comum (*Lophius piscatorius*), mas sua fisiologia não foi completamente compreendida (SCHMIDT-NIELSEN, 1997).

#### 2.3.7 Aparelho Digestório

O trato gastrointestinal é o tubo que vai da boca ao ânus, e pelo qual passam os alimentos. Nos peixes, pode ser dividido em cavidade oral ou orofaríngea, esôfago, estômago, intestino e reto. Apesar da grande variedade apresentada quanto à disposição e ao grau de especialização de cada órgão, algumas generalizações são possíveis (FIGURA 26) (ROTTA, 2003).

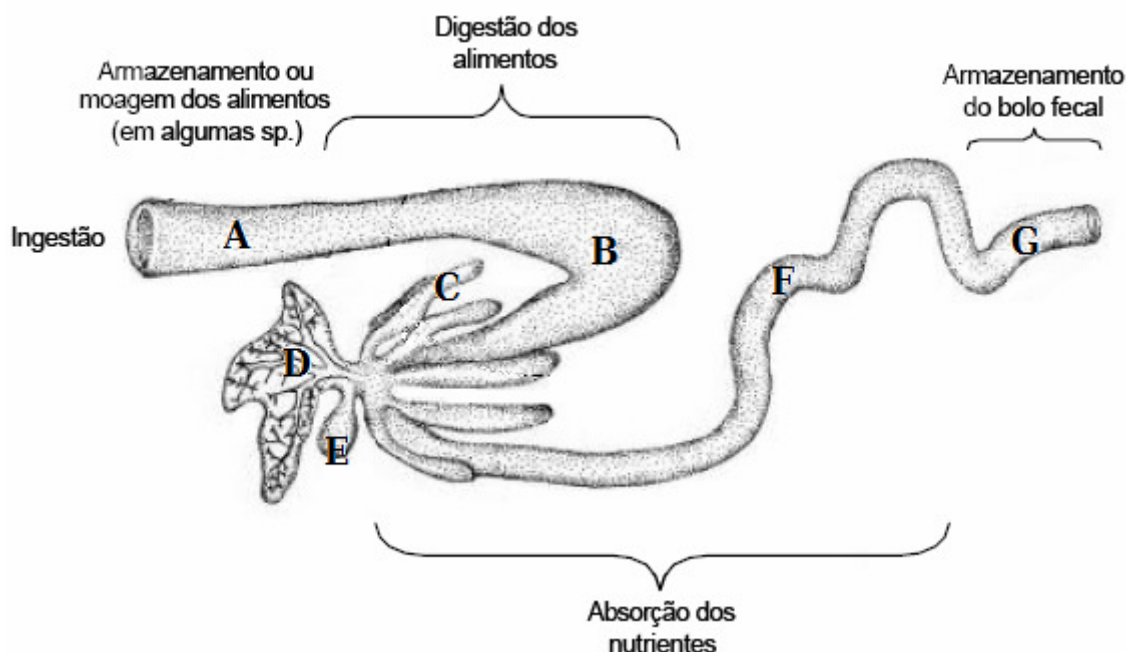


FIGURA 26 - Ilustração esquemática do trato gastrointestinal de teleósteos, alguns anexos e a correlação entre órgão e etapa da digestão. A, esôfago; B, estômago; C, cecos pilóricos; D, fígado; E, vesícula biliar; F, intestino; G, reto. FONTE: ROTTA, 2003.

O advento de mandíbulas permitiu o aumento da gama de alimentos utilizados pelos peixes, que passaram a poder se alimentar de plantas ou outros animais (POUGH; JANIS; HEISER, 2003). Algumas diversificações iniciam já na boca, no formato de seus dentes, sendo que sua alimentação estará diretamente relacionada a este formato. Os ciclóstomos apresentam apenas cristas cornificadas em suas bocas sugadoras, que rasgam a carne de suas presas; os tubarões apresentam conjuntos de dentes bem desenvolvidos, com os quais agarram outros organismos; as raias e quimeras apresentam dentes formando placas, usadas para triturar os organismos dos quais se alimentam. Geralmente, o esôfago apresenta-se curto e pouco diferenciado do estômago (ORR, 1986).

A morfologia funcional do aparelho digestório de peixes-agulha (Belonidae) é incomum, pois são peixes carnívoros que não apresentam estômago e cujo intestino é curto e reto. Principalmente na região do esôfago, são abundantes as células produtoras de muco, que reveste a presa protegendo internamente o trato digestório destes carnívoros. Esôfago, intestinos anterior e posterior e reto apresentam-se altamente reticulados, sendo as seções craniais do intestino distensíveis, a fim de acomodar a presa. Estes belonídeos também apresentam dentes faríngeos orientados no sentido craniocaudal, permitindo que presas grandes sejam engolidas

de uma só vez, porém não possibilitam que ocorra mastigação (FIGURA 27) (MANJAKASY *et al.*, 2009).

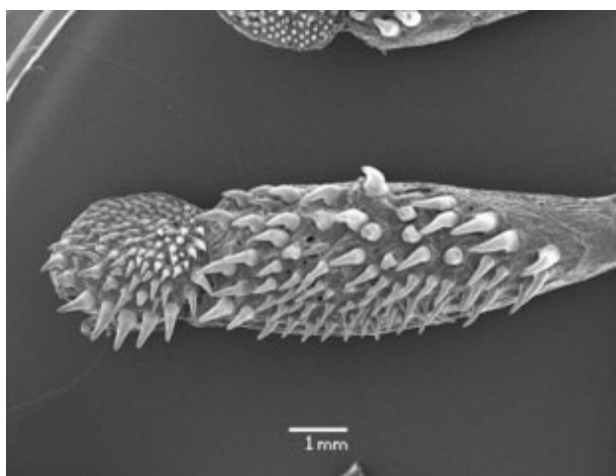


FIGURA 27 - Eletromicrografia de varredura de osso faringeal de *Strongylura leiura ferox* (Teleostei: Belonidae). Na imagem, terceiro e quarto ossos faringobranquiais, com parte anterior voltada para a direita. FONTE: MANJAKASY *et al.*, 2009.

O estudo do estômago do cascudo *Hypostomus plecostomus* revela uma estrutura diferente da tipicamente encontrada em outros peixes, pois suas paredes são finas e transparentes, a camada mucosa é lisa e sem pregas, e toda a superfície interna apresenta células epiteliais respiratórias achatadas. Estes peixes utilizam seu estômago como órgão da respiração (MOSS *et al.*, 2009).

Em elasmobrânquios, o intestino apresenta duas porções: a primeira se caracteriza por apresentar válvula espiral, estrutura que aumenta a superfície de absorção, e a segunda apresenta-se menos espiralada (ORR, 1986).

Não estão presentes as glândulas orais, que umedecem o alimento para os vertebrados terrestres (ORR, 1986).

Peixes ósseos e cartilaginosos apresentam pâncreas similares aos dos vertebrados derivados, com ilhas pancreáticas bem definidas, que produzem insulina. O pâncreas dos peixes-zebra é anatomicamente similar ao dos mamíferos (MOSS *et al.*, 2009).

### 2.3.8 Órgãos dos sentidos

Embora não encontrem compostos volatilizados, os peixes apresentam sistemas sensoriais anatomicamente similares aos sistemas olfatórios de vertebrados terrestres (ACHE; YOUNG, 2005). A diferença de ambiente requer tipos de receptores olfatórios diferentes dos de vertebrados terrestres, a fim de detectar moléculas solúveis em água (KISHIDA *et al.*, 2007).

Habitando o meio aquático, rico em moléculas dissolvidas, peixes apresentam sistemas de sinalização química e quimiossensorial bem desenvolvidos, sendo os sistemas gustatórios e olfatórios suas principais vias quimiossensoriais (HARA, 1994).

Nos peixes, há três vias paralelas do epitélio sensorial ao telencéfalo pelo bulbo olfatório, uma ajustada para pistas sociais, a segunda para feromônios sexuais, e a terceira para odores de alimento, sendo os padrões de comportamento relacionados com seus respectivos odorantes (FIGURA 28) (HAMDANI; DØVING, 2007).

Estudos com carpa *crucian* (*Carassius carassius*) indicam que o trato olfatório lateral é responsável pela mediação do comportamento de alimentação (HAMDANI *et al.*, 2001). A porção medial do trato olfatório medial em carpa *crucian* é necessária e suficiente para a mediação das reações de alarme (HAMDANI *et al.*, 2000), realizada por neurônios com dendritos longos (FIGURA 29) (HAMDANI *et al.*, 2002).

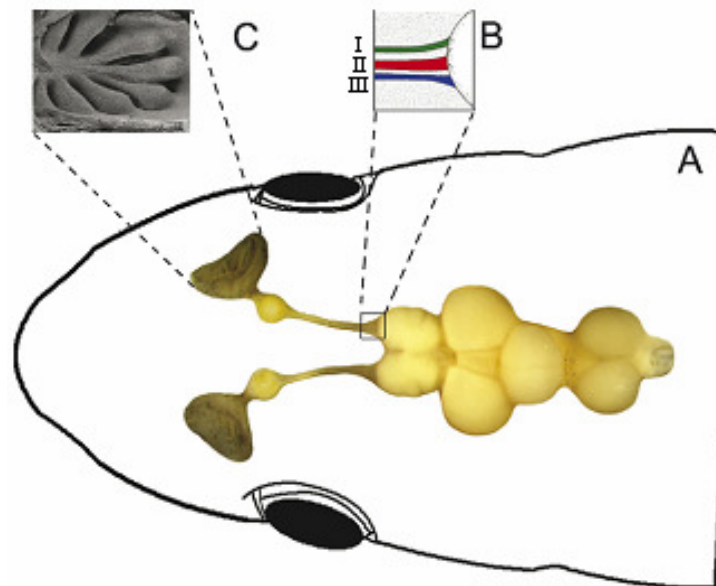


FIGURA 28 - Visão geral do cérebro de carpa *crucian*. A, vista dorsal da cabeça, evidenciando cérebro e sistema olfatório. B, esquema da entrada do trato olfatório no telencéfalo, com suas três porções: I, trato olfatório lateral; II, porção lateral do trato olfatório medial; III, porção medial do trato olfatório medial. C, micrografia de varredura da roseta olfatória. FONTE: HAMDANI; DØVING, 2007.

Em carpas douradas (*Carassius auratus*), são conhecidos os papéis desempenhados na liberação de esperma (DEMSKI; DULKA, 1984) e realização de corte (STACEY; KYLE, 1983) pela porção lateral do trato olfatório medial. A forma como a informação é apresentada ao telencéfalo pelos tratos olfatórios aparenta ser homóloga entre várias ordens de peixes (HAMDANI *et al.*, 2000).

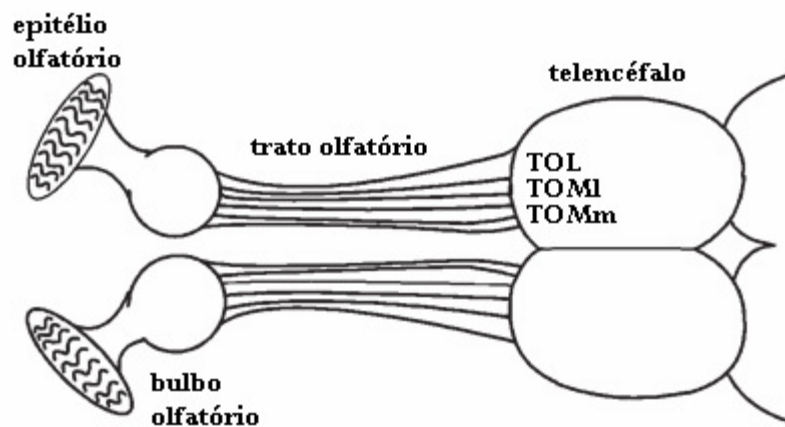


FIGURA 29 - Esquema do sistema olfatório e porção anterior do cérebro em carpa *crucian*, ilustrando tratos olfatórios e suas porções. TOL, trato olfatório lateral; TOMI, porção lateral do trato olfatório medial; TOMm, porção medial do trato olfatório medial. FONTE: HAMDANI *et al.*, 2001.

Neurônios primários olfatórios expressando receptores particulares parecem se comportar de maneira generalizada, projetando seus axônios em um ou poucos glomérulos (MOMBAERTS *et al.*, 1996), que são estruturas anatômicas presentes nos bulbos olfatórios de vertebrados, possivelmente unidades funcionais (FIGURA 30) (BAIER; KOSCHING, 1994). Células receptoras ciliadas isoladas do sistema olfatório são responsáveis pelo comportamento apropriado ante aos odorantes conhecidos (NEVITT *et al.*, 1994). Não obstante, larvas em desenvolvimento parecem ser capazes de distinguir odores e demonstram preferir aqueles que existem em seu coral de origem (GERLACH *et al.*, 2006).

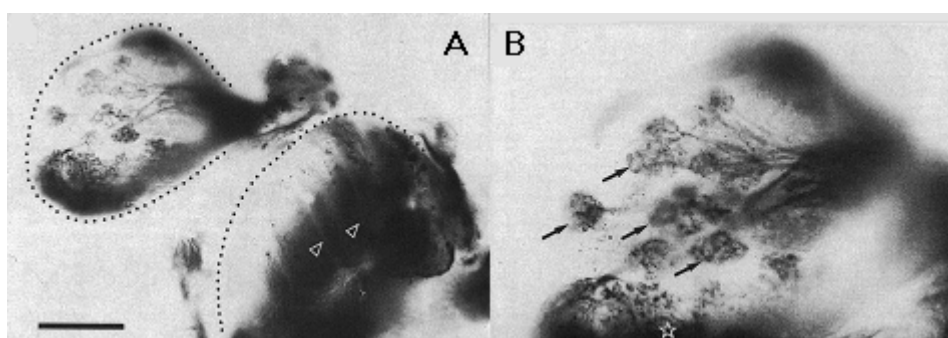


FIGURA 30 - Fotomicrografia de fluorescência de glomérulos olfatórios de peixe-zebra (*Danio rerio*) corado com perclorato de 1-1'-dioctadecil-3,3,3',3'-tetrametilindocarbocianina (DiI). A, região do bulbo. B, detalhe dos glomérulos indicados por flechas. Fonte: BAIER & KORSCHING, 1994.

As Ampolas de Lorenzini são órgãos sensoriais encontrados na cabeça de tubarões, raias e quimeras, que contêm um gel que proporciona propriedades de semicondutor termoelétrico (FIGURA 31) (FIELDS *et al.*, 2007). Apresentam diversas funções descritas na literatura (FIELDS *et al.* 2007), a saber: receptores sensoriais para toque, pressão (MURRAY, 1957), salinidade (MURRAY, 1960), temperatura (BROWN, 2003), campos elétricos e magnéticos (KALMIJN, 1982). Elas desenvolvem papel importante no sistema sensorial de tubarões e similares (BROWN, 2003), apresentando também sensibilidade a mudanças no campo magnético terrestre (MEYER; HOLLAND; PAPASTAMATIOU, 2005).

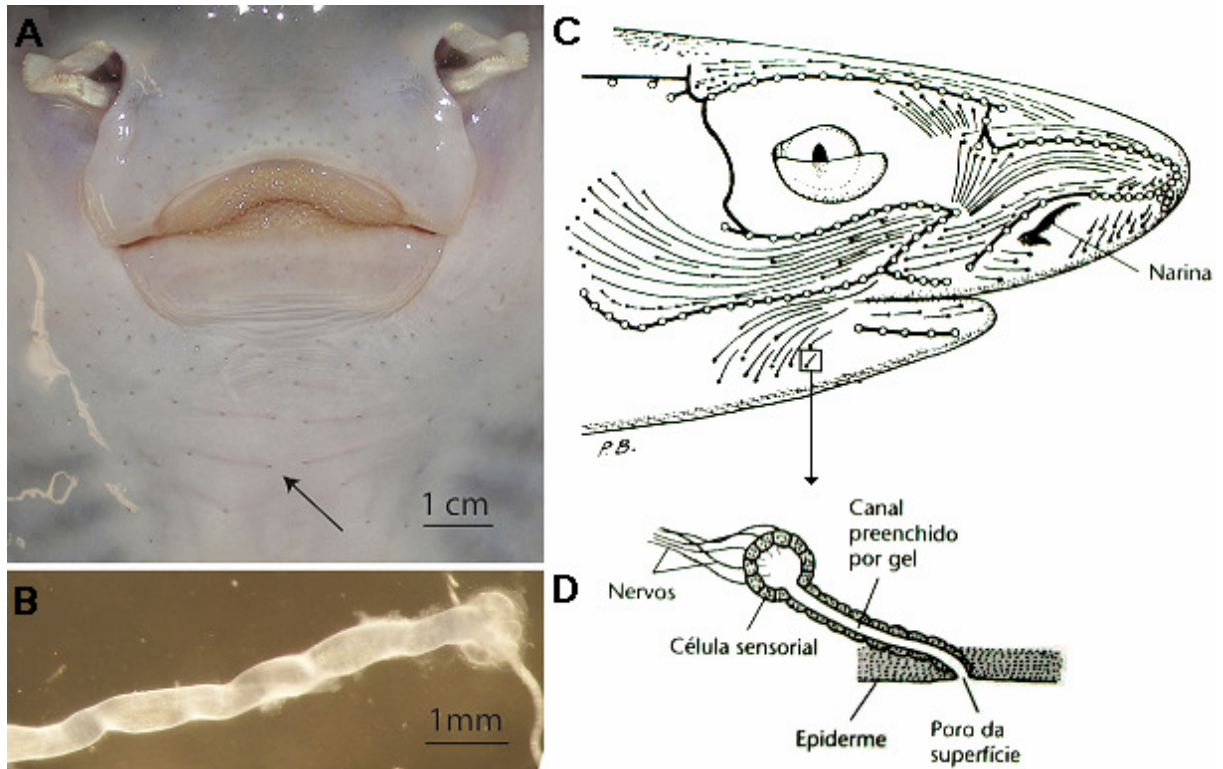


FIGURA 31 - Imagens ilustrativas sobre Ampolas de Lorenzini. A, vista ventral, região oral, de raia (*Raja erinacea*), e as porções finais em forma de alvéolo dos órgãos tubulares apresentando células sensoriais (flecha). B, Ampola de Lorenzini, com células sensoriais contendo gel eletro-condutor. C, em analogia a A, cabeça de *Squalus acanthius* ilustrando a distribuição das Ampolas de Lorenzini, com os círculos claros representando poros na superfície. D, em analogia a B, esquema de uma única Ampola de Lorenzini, com suas estruturas indicadas. FONTE: FIELDS *et al.*, 2007 (A-B), POUGH; JANIS; HEISER, 2003 (C-D).

A linha lateral em peixes é um órgão sensorial adicional, que é usado para detectar variações hidrodinâmicas e movimentações na água, sendo composta de placas neuroepiteliais, chamadas neuromastos (FIGURA 32) (BEHRA *et al.*, 2009). Estes são as unidades funcionais do sistema da linha lateral superficial, e são encontrados livres na superfície do animal. Em larvas de peixe-zebra (*Danio rerio*), cada neuromasto contém de 20 a 30 células com estereocílios mecanossensoriais e um número similar de células auxiliares não-sensoriais (FAUCHERRE *et al.*, 2009). A linha lateral desempenha um importante papel em reações motoras, e, em animais cuja capacidade visual é mais limitada, é maior a dependência desse sistema sensorial (POHLMANN; ATEMA; BREITHAUPT, 2004).

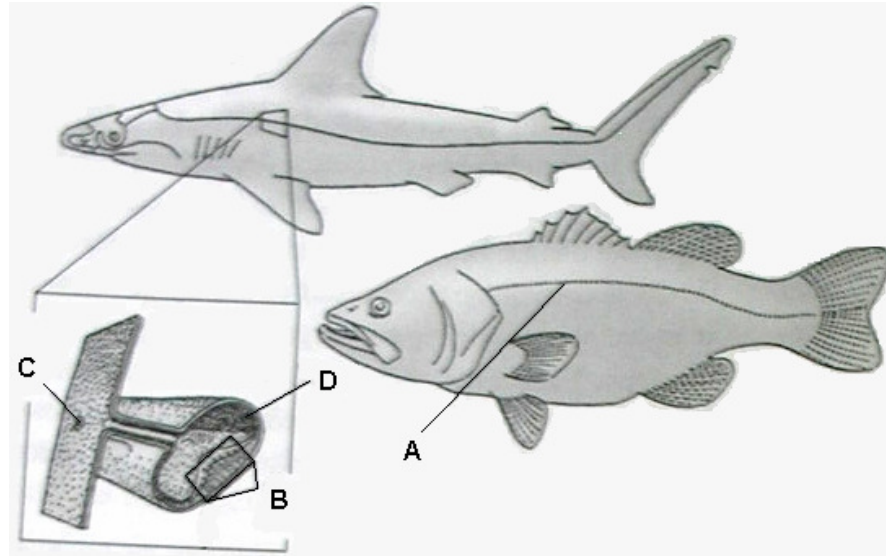


FIGURA 32 - Representações esquemáticas da linha lateral em peixes. A, linha lateral. B, órgão neuromasto. C, poros na superfície da pele. D, canal. FONTE: POUGH, JANIS & HEISER, 2003.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A monografia foi elaborada seguindo as normas da UFPR referentes à confecção de trabalhos acadêmicos editados na série de livros intitulados “Normas para apresentação de documentos científicos”. Especificamente, foram consultados os seguintes fascículos desta série: “Teses, dissertações, monografias e outros trabalhos acadêmicos”; “Citações e notas de rodapé”; “Referências”; “Redação e editoração”.

Utilizaram-se livros didáticos disponibilizados nas bibliotecas da UFPR dos setores de Ciências Biológicas e Ciências Agrárias e acervos digitais, como o Portal de Periódicos da Capes (disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>), PubMed (disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>>), Web of Knowledge (disponível em: <<http://isiknowledge.com/wos>>), Nature (disponível em: <<http://www.nature.com/nature/archive/index.html>>), Science (disponível em: <<http://www.sciencemag.org/>>), entre outros sites, para a realização da revisão bibliográfica do tema proposto.

## 4 DISCUSSÃO

A elaboração de monografia é um dos critérios didáticos utilizados na avaliação da Disciplina de Estágio em Anatomia. Associado a isso, a revisão bibliográfica é uma importante ferramenta para auxiliar no discurso dos temas, levantamento de dados e investigação sobre a situação da pesquisa na área. Optou-se, então, por realizar-se revisão bibliográfica relacionada aos Peixes, sob enfoque morfológico, com contribuições de outras áreas quando cabível.

O estudo de peixes apresenta enfoques diversos: taxonômico, embriológico, ecológico, fisiológico, genético, etnobiológico, morfológico, entre outros. Esta sistematização gera divisões entre as áreas do conhecimento, estabelecendo limites que se tornam visíveis a partir de revisão bibliográfica na área. Possivelmente, estes limites estendem-se à pesquisa e à produção de conhecimento científico na área, uma vez que tanto periódicos como departamentos das Universidades, em geral, apresentam-se segregados por influência da sistematização.

A produção de artigos na área também sofre essa influência, pois o enfoque morfológico apresenta uma quantidade relativamente menor de material bibliográfico em periódicos e literatura especializada se comparado aos demais enfoques. Pereira (1986) e Hildebrand (1995) apontam a importância do estudo anatômico dos peixes, tanto para fins didáticos quanto para análises evolutivas e filogenéticas do grupo.

Observou-se que há polêmica sobre as teorias na área da evolução de teleósteos. Hoegg *et al.* (2004) afirmam que a diversidade do grupo seria decorrente da duplicação específica do genoma dos peixes, Ravi e Venkatesh (2008) questionam a correlação estabelecida por alguns autores entre o evento de duplicação e a diversificação, Santini *et al.* (2009) afirmam que a duplicação específica do genoma de peixes pode ser responsável por 10% da diversidade dos teleósteos, e Meyer e Van de Peer (2005) afirmam que a possível data do evento não se relaciona com o início da diversificação do grupo.

No campo da classificação, há concordância entre Nelson (1994) e Pough, Janis e Heiser (2003) sobre o caráter não taxonômico do termo “peixes”. Nelson (1994) também coloca a necessidade de se aumentar e aliar estudos morfológicos a moleculares para que a taxonomia seja refinada.

A literatura sobre morfologia externa não se demonstrou reduzida, com descrições gerais dos grupos e abordagem morfométrica de alguns autores. Já o aparelho locomotor apresentou mais dados sobre o sistema esquelético do que muscular, sendo que Diogo *et al.* (2008) relataram a escassez de trabalhos na abordagem do sistema muscular de peixes é uma realidade. Alguns autores situam a estrutura “bexiga natatória” associada a seus capítulos referentes a sistema respiratório. Nesse trabalho, optou-se por associá-la ao aparelho locomotor, pois sua funcionalidade primária parece estar relacionada com o deslocamento vertical dos peixes que a possuem.

Apresentam-se de forma mais vasta os trabalhos referentes aos órgãos dos sentidos, sendo o trato olfatório amplamente estudado por Hamdani *et al.* (2000, 2001, 2002, 2007), por mais que ainda muitos estudos necessitem ser realizados.

Mais estudos se fazem necessários nos diversos sistemas, com base na deficiência da literatura sob o prisma morfológico de peixes. A produção de material sobre a anatomia dos peixes, incluindo literatura especializada, atlas ilustrados, entre outros, é uma necessidade não só para a ciência como para o meio acadêmico, para auxiliar no conteúdo de disciplinas ministradas a cursos das áreas de Ciências Biológicas e correlatos.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo anatômico de organismos complexos e diversos como peixes não é simples, nem é pretensão deste trabalho abordá-lo em sua totalidade. A partir do esboço aqui colocado, é possível se projetar necessidades e novos parâmetros para estudos futuros abordando a morfologia deste grupo tão fascinante, cujo campo de pesquisa necessita de mais literatura especializada.

## REFERÊNCIAS

ACHE, B. W.; YOUNG, J. M. Olfaction: Diverse Species, Conserved Principles. **Neuron**, v. 48, p. 417–430, 2005.

AHLBERG, P.; TRINAJSTIC, K.; JOHANSON, Z.; LONG, J. Pelvic claspers confirm chondrichthyan-like internal fertilization in arthrodires. **Nature**, v. 460, p. 888-889, 2009.

ALSOP, D.; INGS, J. S.; VIJAYAN, M. M. Adrenocorticotrophic Hormone Suppresses Gonadotropin-stimulated Estradiol Release from Zebrafish Ovarian Follicles. **PLoS ONE**, v. 4, n. 7, p. 1-6, 2009.

ATZ, J. W. Hermaphroditic Fish. **Science**, Washington, v. 150, p. 789-797, 1965.

BAIER, H.; KORSCHING, S. Olfactory Glomeruli in the Zebrafish Form an Invariant Pattern and Are Identifiable Across Animals. **The Journal of Neuroscience**, v. 14, n. 1, p. 219-230, 1994.

BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2002.

BARLETTA, M. ; CORREA, M. F. M. **Guia para identificação de peixes da costa do Brasil**. Curitiba: Editora da UFPR, 1992.

BARTELS, H.; POTTER, I. C. Cellular composition and ultrastructure of the gill epithelium of larval and adult lampreys: implications for osmoregulation in fresh and seawater. **J. Exp. Biol.**, Woodbury, v. 207, p. 3447-3462, 2004.

BERENBRINK, M.; KOLDKJÆR, P.; KEPP, O.; COSSINS, A. R. Evolution of Oxygen Secretion in Fishes and the Emergence of a Complex Physiological System. **Science**, Washington, v. 307, p. 1752-1757, 2005.

BEHRA, M.; BRADSHAW, J.; SOUGRAT, R.; GALLARDO, V.; ALLENDE, M. L.; BURGESS, S. M. Phoenix Is Required for Mechanosensory Hair Cell Regeneration in the Zebrafish Lateral Line. **PloS Genetics**, v. 5, n. 4, e1000455, 2009.

BERRA, T. M. Some 20th century fish discoveries. **Env. Biol. Fish**, Netherlands, v. 50, n. 1, p. 1-12, 1997.

BOILY, P.; REES, B. B.; WILLIAMSON, L. A. C. Vertebrate osmoregulation: a student laboratory exercise using teleost fish. **Advan Physiol Educ**, v. 31, p. 352-357, 2007.

BONE, Q.; MARSHALL, N. B.; BLAXTER, J. H. S. **Biology of fishes**. 2 ed. London: Chapman & Hall, 1995.

BRITTAIN, T. Root effect hemoglobins. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 99, p. 120–129, 2005.

BROWN, B. R. Neurophysiology: sensing temperature without ion channels. **Nature**, London, v. 421, p. 495, 2003.

BURMEISTER, S. S.; JARVIS, E. D.; FERNALD, R. D. Rapid behavioral and genomic responses to social opportunity. **PLoS Biol**, v. 3, n. 11, p. 1996-2004, 2005.

CASTRO, A. L. S.; GONÇALVES-DE-FREITAS, E.; VOLPATO, G. L.; OLIVEIRA, C. Visual communication stimulates reproduction in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Braz J Med Biol Res**, v. 42, n. 4, p. 368-374, 2009.

CHAVES-POZO, E.; LIARTE, S.; MULERO, I.; ABELLÁN, E.; MESEGUER, J.; GARCÍA-AYALA, A. Early Presence of Immune Cells in the Developing Gonad of Gilth Seabram (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758). **J. Reprod. Dev.**, v. 55, n. 4, p. 440-445, 2009.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO. **40 peixes do Brasil**: CESP 40 anos. José Caldas (fotografia); João Henrique Pinheiro Dias, Oscar Akio Shibatta (pesquisa e texto); Oscar Akio Shibatta (ilustrações). Rio de Janeiro: Doiis, 2006.

DEMSKI, L. S.; DULKA, J. G. Functional-anatomical studies on sperm release evoked by electrical stimulation of the olfactory tract in goldfish. **Brain Research**, v. 291, n. 2, p. 241-247, 1984.

DENNIS, C. The oldest pregnant mum. **Nature**, London, v. 453, p. 575, 2008.

DEVLIN, R. H.; NAGAHAMA, Y. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. **Aquaculture**, v. 208, p. 191-364, 2002.

DIAMOND, J. M. The biology of coelacanth. **Nature**, London, v. 315, p. 18, 1985.

DIOGO, R; HINITIS, Y; HUGHES, S. M. Development of mandibular, hyoid and hypobranchial muscles in the zebrafish: homologies and evolution of these muscles within bony fishes and tetrapods. **BMC Dev Biol.**, v. 8, n. 24, 2008.

DOBBS, III, G. H.; LIN, Y.; DEVRIES, A. L. Agglomerularism in Antarctic Fish. **Science**, Washington, v. 185, p. 793-794, 1974.

EVANS, D. H. Teleost fish osmoregulation: what we have learned since August Krogh, Homer Smith, and Ancel Keys. **Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol**, v. 295, p. 704-713, 2008.

FAHLÉN, G. Histology of the Posterior Chamber of the Swimbladder of *Argentina*. **Nature**, London, v. 207, p. 94-95, 1965.

FAUCHERRE, A.; PUJOL-MARTÍ, J.; KAWAKAMI, K.; LÓPEZ-SCHIER, H. Afferent neurons of the Zebrafish Lateral Line Are Strict Selectors of Hair-Cell Orientation. **PloS One**, v. 4, n. 2, e4477, 2009.

FIELDS, R. D.; FIELDS, K. D.; FIELDS, M. C. Semiconductor gel in shark sense organs? **Neuroscience Letters**, v. 426, p. 166–170, 2007.

FOSKETT, J. K.; BERN, H. A.; MACHEN, T. E.; CONNER, M. Chloride cells and the hormonal control of teleost fish osmoregulation. **J. Exp. Biol.**, Woodbury, v. 106, p. 255-281, 1983.

FREITAG, J.; LUDWIG, G.; ANDREINI, I.; ROSSLER, P.; BREER, H. Olfactory receptors in aquatic and terrestrial vertebrates. **J Comp Physiol A**, v. 183, p. 635-650, 1998.

GERLACH, G.; ATEMA, J.; KINGSFORD, M. J.; BLACK, K. P.; MILLER-SIMS, V. Smelling home can prevent dispersal of reef fish larvae. **PNAS**, v. 104, p. 858-863, 2007.

GIMENO, S.; GERRITSEN, A.; BOWMER, T.; KOMEN, H. Feminization of male carp. **Nature**, London, v. 384, p. 221-222, 1996.

HAMDANI, E. H.; DØVING, K. B. The alarm reaction in crucian carp is mediated by olfactory neurons with long dendrites. **Chem. Senses**, v. 27, p. 395-398, 2002.

\_\_\_\_\_. The functional organization of the fish olfactory system. **Progress in Neurobiology**, v. 82, p. 80-86, 2007.

HAMDANI, E. H.; KASUMYAN, A.; DØVING, K. Is Feeding Behaviour in Crucian Carp Mediated by the Lateral Olfactory Tract? **Chem. Senses**, v. 26, p. 1133-1138, 2001.

HAMDANI, E. H.; STABELL, O. B.; ALEXANDER, G.; DØVING, K. B. Alarm Reaction in the Crucian Carp is Mediated by the Medial Bundle of the Medial Olfactory Tract. **Chem. Senses**, v. 25, p. 103-109, 2000.

HARA, T. J. Olfaction and gustation in fish: an overview. **Acta Physiol Scand.**, v. 152, n. 2, p. 207-217, 1994.

HARRINGTON, R. W. Jr. Oviparous Hermaphroditic Fish with Internal Self-Fertilization. **Science**, Washington, v. 134, p. 1749-1750, 1961.

HILDEBRAND, M. **Análise da estrutura dos vertebrados**. São Paulo: Atheneu, 1995.

HOEGG, S.; BRINKMANN, H.; TAYLOR, J. S.; MEYER, A. Phylogenetic Timing of the Fish-Specific Genome Duplication Correlates with the Diversification of Teleost Fish. **J. Mol. Evol.**, v. 59, p. 190-203, 2004.

HYMAN, L. H. **Comparative vertebrate anatomy**. Chicago: The University of Chicago Press, 1966.

HOPKINS, C. D. Sex Differences in Electric Signaling in an Electric Fish. **Science**, Washington, v. 176, p. 1035-1037, 1972.

ICARDO, J. M.; OJEDA, J. L.; COLVEE, E.; TOTA, B.; WONG, W. P.; IP, Y K. Heart Inflow tract of the American Lungfish *Protopterus dolloi*. **Journal of Morphology**, v. 263, p. 30-38, 2005.



ISHIGURO, N. B.; MIYA, M.; NISHIDA, M. Basal euteleostean relationships: a mitogenomic perspective on the phylogenetic reality of the “Protacanthopterygii”. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 27, p. 476–488, 2003.

JOBLING, M. **Environmental Biology of fishes**. London: Chapman & Hall, 1995.

KALMIJN, A. J. Electric and magnetic field detection in elasmobranch fishes. **Science**, Washington, v. 218, p. 916–918, 1982.

KENT, G. C. **Comparative anatomy of the vertebrates**. 7 ed. USA: WCB, 1987.

KISHIDA, T.; KUBOTA, S.; SHIRAYAMA, Y.; FUKAMI, H. The olfactory receptor gene repertoires in secondary-adapted marine vertebrates: evidence for reduction of the functional proportions in cetaceans. **Biol. Lett.**, v. 3, p. 428–430, 2007.

LECTURE 16: respiratory and excretory systems. Disponível em: <<http://www.sci.sdsu.edu/classes/bio100/Lectures/Lect16/lect16.html>>. Acesso em: 02/12/2009.

LONG, J.; TRINAJSTIC, K.; JOHANSON, Z. Devonian arthrodire embryos and the origin of internal fertilization in vertebrates. **Nature**, London, v. 457, p. 1124–1127, 2009.

LOWE-MCCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999.

MANJAKASY, J. M.; DAY, R. D.; KEMP, A.; TIBBETTS, I. R. Functional Morphology of Digestion in the Stomachless, Piscivorous Needlefishes *Tylosurus gavioides* and *Strongylura leiura ferox* (Teleostei: Beloniformes). **Journal of Morphology**, v. 270, p. 1155–1165, 2009.

MCCORMICK, S. D.; HASEGAWA, S.; HIRANO, T. Calcium uptake in the skin of a freshwater teleost. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, v. 89, p. 3635–3638, 1992.

MEYER, A.; VAN DE PEER, Y. From 2R to 3R: evidence for a fish-specific genome duplication (FSGD). **BioEssays**, v. 27, n. 9, p. 937–945, 2005.

MEYER, C. G.; HOLLAND, K. N.; PAPASTAMATIOU, Y. P. Sharks can detect changes in the geomagnetic field. **J. R. Soc. Interface**, v. 2, p. 129–130, 2005.

MOMBAERTS, P.; WANG, F.; DULAC, C.; CHAO, S.K.; NEMES, A.; MENDELSON, M.; EDMONDSON, J. and AXEL, R. Visualizing an olfactory sensory map. **Cell**, v. 87, p. 675-86, 1996.

MOSS, J. B.; KOUSTUBHAN, P.; GREENMAN, M.; PARSONS, M. J.; WALTER, I.; MOSS, L. G. Regeneration of the Pancreas in Adult Zebrafish. **Diabetes**, v. 58, n. 8, 1844-1851, 2009.

MUNSHI, J. S. D.; DUTTA, H. M. **Fish Morphology**: horizon of new research. Florida: CRC Press, 1996.

MURRAY, R. W. Electrical sensitivity of the ampullae of Lorenzini. **Nature**, London, v. 187, p. 957, 1960.

MURRAY, R. W. Evidence for a mechanoreceptive function of the ampullae of Lorenzini. **Nature**, London, v. 179, p. 406–407, 1957.

NELSON, J. S. **Fishes of the world**. 1 ed. New York: Wiley-Interscience, 1976.

NELSON, J. S. **Fishes of the world**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

NEVITT, G.; DITTMANO, A. H.; QUINN, T. P., MOODY JR., W. J. Evidence for a peripheral olfactory memory in imprinted salmon. **Proc. Nati. Acad. Sci. USA**, v. 91, p. 4288-4292, 1994.

NISHIMURA, H.; IMAI, M.; OGAWA, M. Sodium chloride and water transport in the renal distal tubule of the rainbow trout. **Am. J. Physiol.**, v. 244, p. 247-254, 1983.

ORR, R. T. **Biologia dos vertebrados**. 5 ed. São Paulo: Roca, 1986.

PALA, I.; SCHARTL, M.; THORSTEINSDÓTTIR, S.; COELHO, M. M. Sex Determination in the *Squalius alburnoides* Complex: An Initial Characterization of Sex Cascade Elements in the Context of a Hybrid Polyploid Genome. **PLoS ONE**, v. 4, n. 7, p. 1-10, 2009.

PEREIRA, R. **Peixes de Nossa Terra**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1986.

PODKOWA, D.; GONIAKOWSKA-WITALINSKA, L. Morphology of the air-breathing stomach of the Catfish *Hypostomus plecostomus*. **Journal of Morphology**, v. 257, p. 147-163, 2003.

POHLMANN, K.; ATEMA, J.; BREITHAUPT, T. The importance of the lateral line in nocturnal predation of piscivorous catfish. **J. Exp. Biol.**, Woodbury, v. 207, p. 2971-2978, 2004.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2003.

PREM, C.; SALVENMOSER, W.; WÜRTZ, J.; PELSTER, B. Swim bladder gas gland cells produce surfactant: in vivo and in culture. **Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol**, v. 279, p. 2336-2343, 2000.

PRODOCIMO, V. **A transição entre hipo- e hiper-regulação osmótica do plasma em peixes eurihalinos**. 150 f. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Molecular) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/4649>>. Acesso em: 16/11/2009.

RAVI, V.; VENKATESH, B. Rapidly evolving fish genomes and teleost diversity. **Curr Opin Genet Dev**, v. 18, p. 544-550, 2008.

ROMER, A. S.; PARSONS, T. S. **Anatomia Comparada dos vertebrados**. São Paulo: Atheneu, 1985.

ROTTA, M. A. **Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003.

ROSAS, F. C. W.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Adaptações dos vertebrados à vida aquática. In: MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; ARANHA, J. M. R. (Org.). **Revisões em Zoologia I**: Volume comemorativo dos 30 anos do Curso de Pós-Graduação em Zoologia da Universidade Federal do Paraná. 1 ed. Curitiba: Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Paraná, 2006. P. 255-264.

ROSS, R. M.; LOSEY, G. S.; DIAMOND, M. Sex Change in a Coral-Reef Fish: Dependence of Stimulation and Inhibition on Relative Size. **Science**, Washington, v. 221, n. 4610, p. 574-575, 1983.

SANTINI, F.; HARMON, L. J.; CARNEVALE, G.; ALFARO, M. E. Did genome duplication drive the origin of teleosts? A comparative study of diversification in ray-finned fishes. **BMC Evolutionary Biology**, v. 9, n. 194, 2009.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Animal physiology: adaptation and environment**. 5 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

SIQUEIRA-SOUZA, F. K.; FREITAS, C. E. C. Fish diversity of floodplain lakes on the lower stretch of the Solimões River. **Braz. J. Biol.**, São Carlos, v. 64, n. 3a, p. 501-510, 2004.

STACEY, N. E.; KYLE, A. L. Effects of olfactory tract lesions on sexual and feeding behavior in the goldfish. **Physiology & Behavior**, v. 30, n. 4, p. 621-628, 1983.

STRAND, E.; JØRGENSEN, C.; HUSE, G. Modelling buoyancy regulation in fishes with swimbladders: bioenergetics and behaviour. **Ecological Modelling**, v. 185, p. 309-327, 2005.

THE EDUCATION PROGRAM AT THE NEW JERSEY MARINE SCIENCES CONSORTIUM, 1., 2009, New Jersey.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Teses, dissertações, monografias e outros trabalhos acadêmicos**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2007. (Normas para apresentação de documentos científicos, 2).

\_\_\_\_\_. Sistema de Bibliotecas. **Citações e notas de rodapé**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2007. (Normas para apresentação de documentos científicos, 3).

\_\_\_\_\_. Sistema de Bibliotecas. **Referências**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2007. (Normas para apresentação de documentos científicos, 4).

\_\_\_\_\_. Sistema de Bibliotecas. **Redação e Editoração**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2007. (Normas para apresentação de documentos científicos, 9).

VENESKY, M. D.; ANDRASO, G. M.; ROPSKI, S. J. Behavior of male Kenyi Cichlids, *Pseudotropheus lombardoi*, in response to visual and olfactory cues from females. **Bios**, v. 76, p. 77-83, 2005.

VENKATESH, B. Evolution and diversity of fish genomes. **Curr Opin Genet Dev**, v. 13, p. 588-592, 2003.

WILSON, R. W.; MILLERO, F. J.; TAYLOR, J. R.; WALSH, P. J.; CHRISTENSEN, V.; JENNINGS, S.; GROSELL, M. Contribution of Fish to the Marine Inorganic Carbon Cycle. **Science**, Washington, v. 323, p. 359-362, 2009.

YOUNG, J. Z. **The life of vertebrates**. 3. ed. Oxford: Clarendon Press, 1981.